



Низкопоточковая анестезия и анестезия по закрытому контуру

Костюченко С. С., MD, DESA

Заведующий отделением анестезиологии и реанимации №1
Минская Областная Клиническая Больница

МИНСК 2016

Определение и особенности

- Низкопоточковая анестезия (НПА) – поток свежего газа (ПСГ) менее 50% от минутной вентиляции.
- НПА используется только при реверсивных дыхательных контурах.

Терминология

- К НПА традиционно относят анестезию с ПСГ от 1 до 2 л/мин.
- Минимально-поточковая анестезия (МПА) – ПСГ от 0,5 до 1 л/мин.
- Анестезия по закрытому контуру – использование метаболических потоков кислорода.

Что нужно понимать

- Может развиваться гипоксия, но мы не должны этого допускать.
- Состав газов, определяемый в контуре газоанализатором будет отличаться от состава, выставленного на аппарате (флоуметры и испаритель)



Мифы об опасности НПА необоснованы!!!

- НПА безопасна для пациента при соблюдении следующих условий:

Понимание анестезиологом принципов работы НДА

Понимание анестезиологом принципов работы с НПА

Постоянное присутствие анестезиолога в операционной

!!! Класс аппарата не играет ключевой роли при условии проверки аппарата перед работой и наличия необходимых флоуметров (с индикацией <2 л) !!!

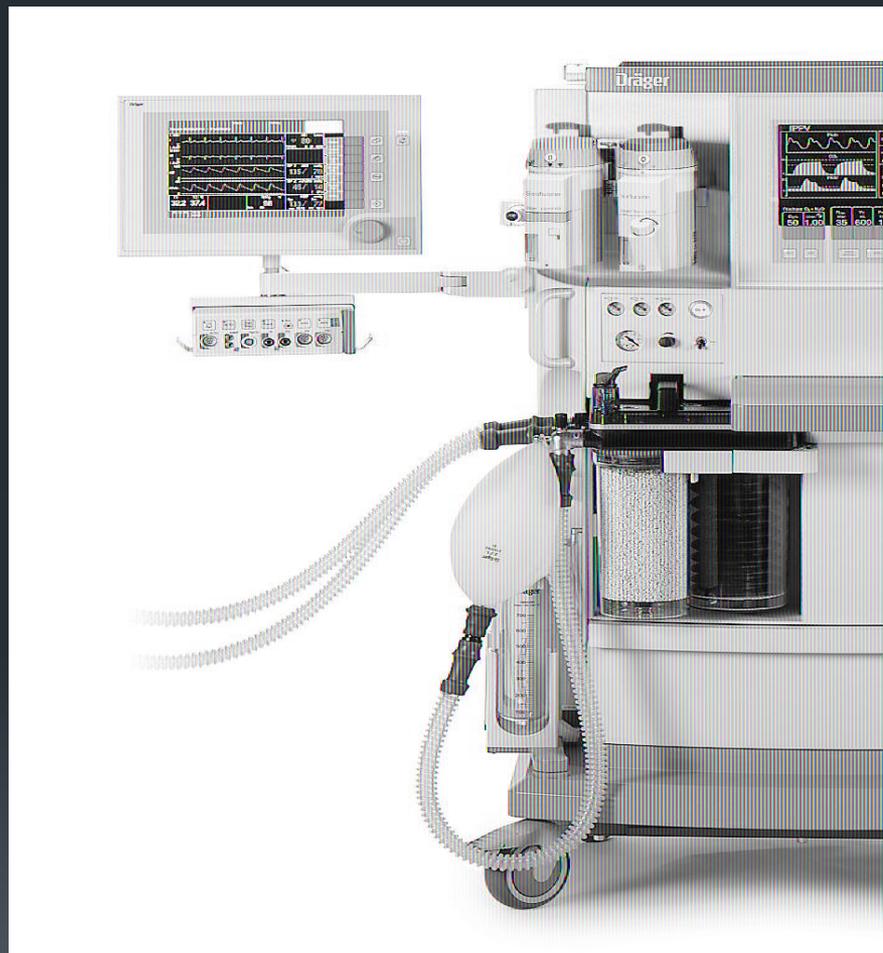
Почему НПА?

- Низкий расход анестетиков
- Низкая стоимость
- Безопасность
- Эффективность
- Согревание и увлажнение дыхательной смеси
- Увлажнение абсорбента
- Экологические преимущества
(длительность жизни N_2O – 150 лет)

Необходимые условия

- Мониторинг F_iO_2
- Мониторинг спирометрии и давления в дыхательных путях
- Мониторинг концентрации анестетика
- Мониторинг $EtCO_2$
- Утечка <100 мл/мин
- Свежий абсорбент

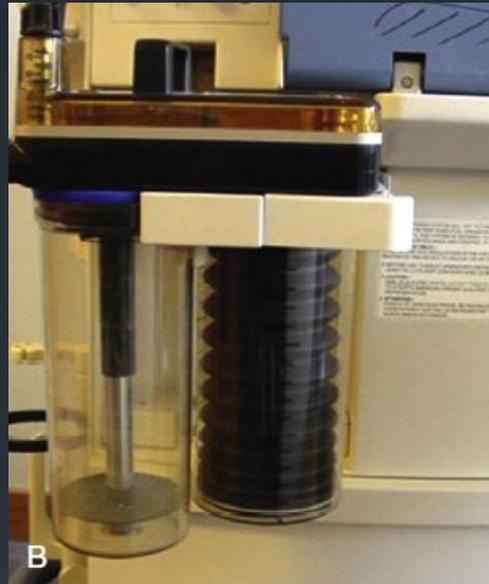
ПРИНЦИП РАБОТЫ НАРКОЗНО- ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА



Типы приводов вентилятора



Восходящий
пневмопривод

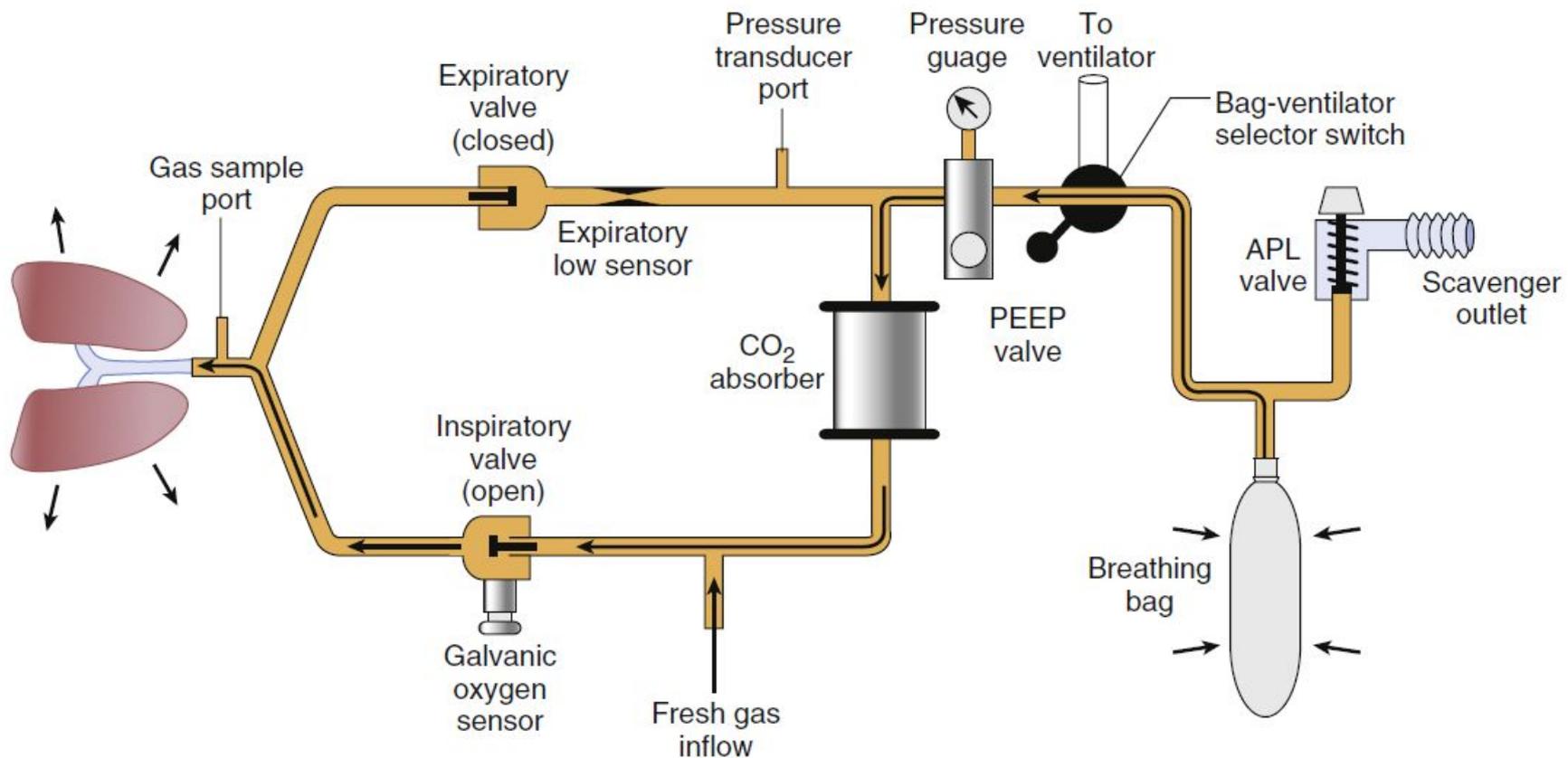


Нисходящий
пневмопривод

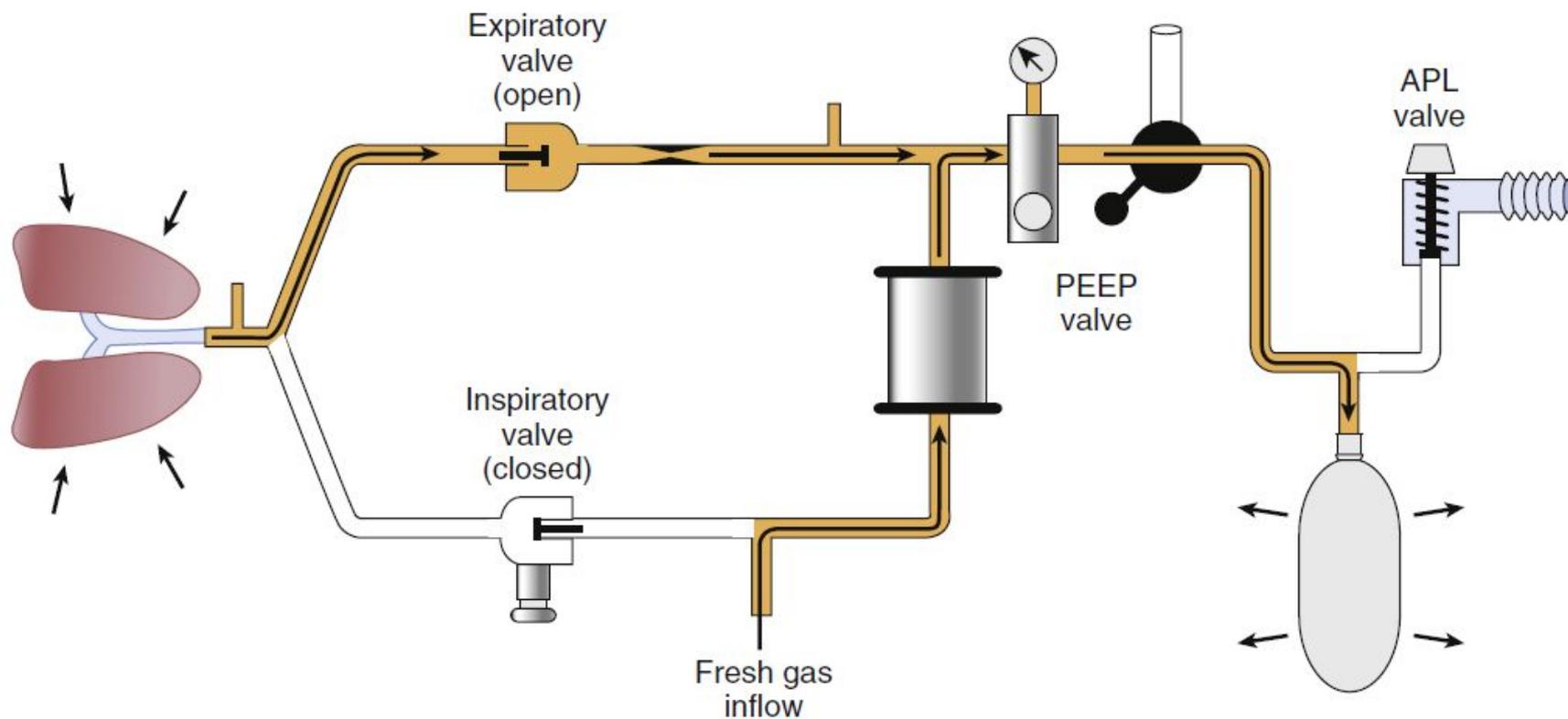


Поршневой привод

Строение реверсивного дыхательного контура

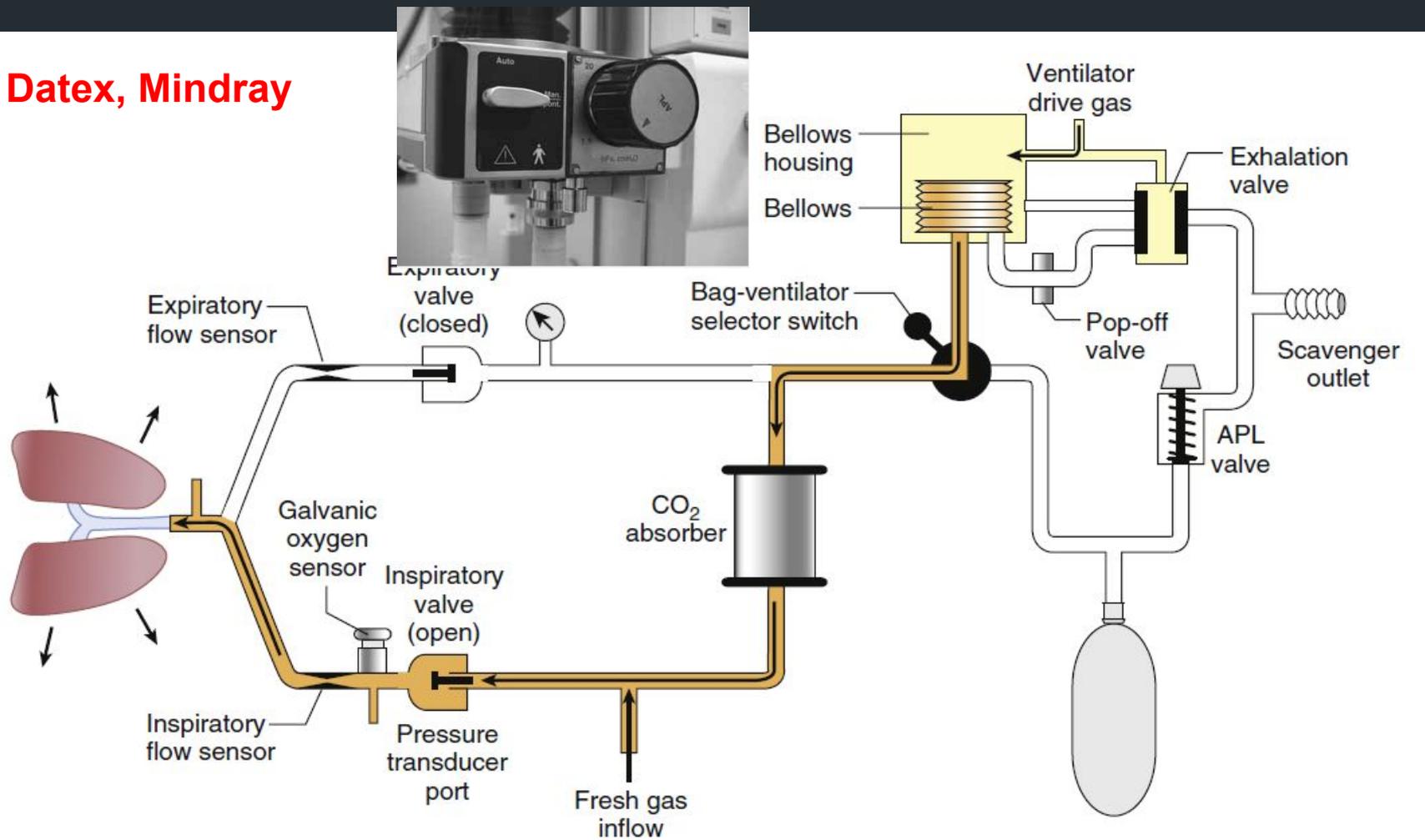


Выдох при ручной вентиляции



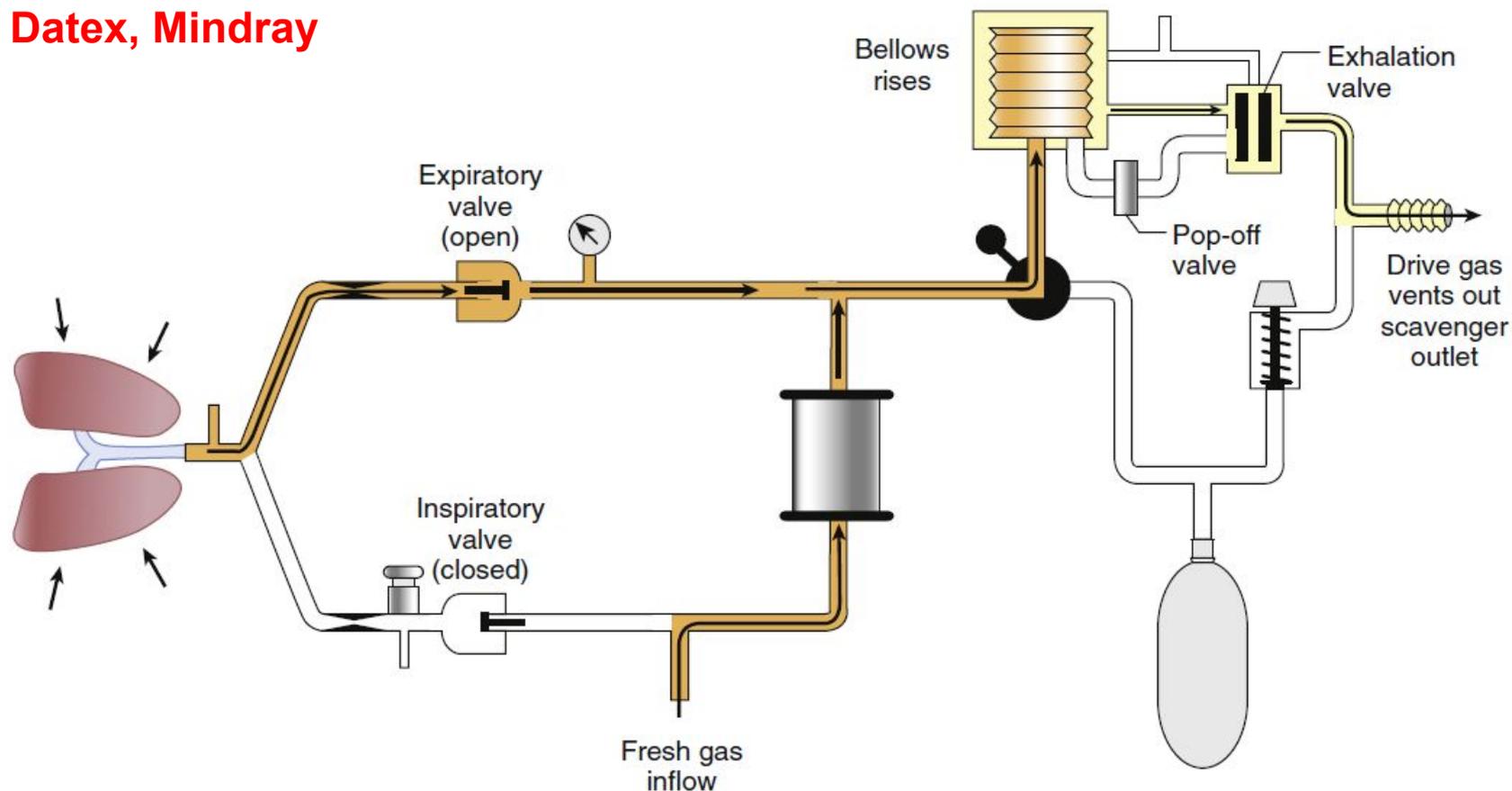
Вдох при аппаратной вентиляции

Datex, Mindray



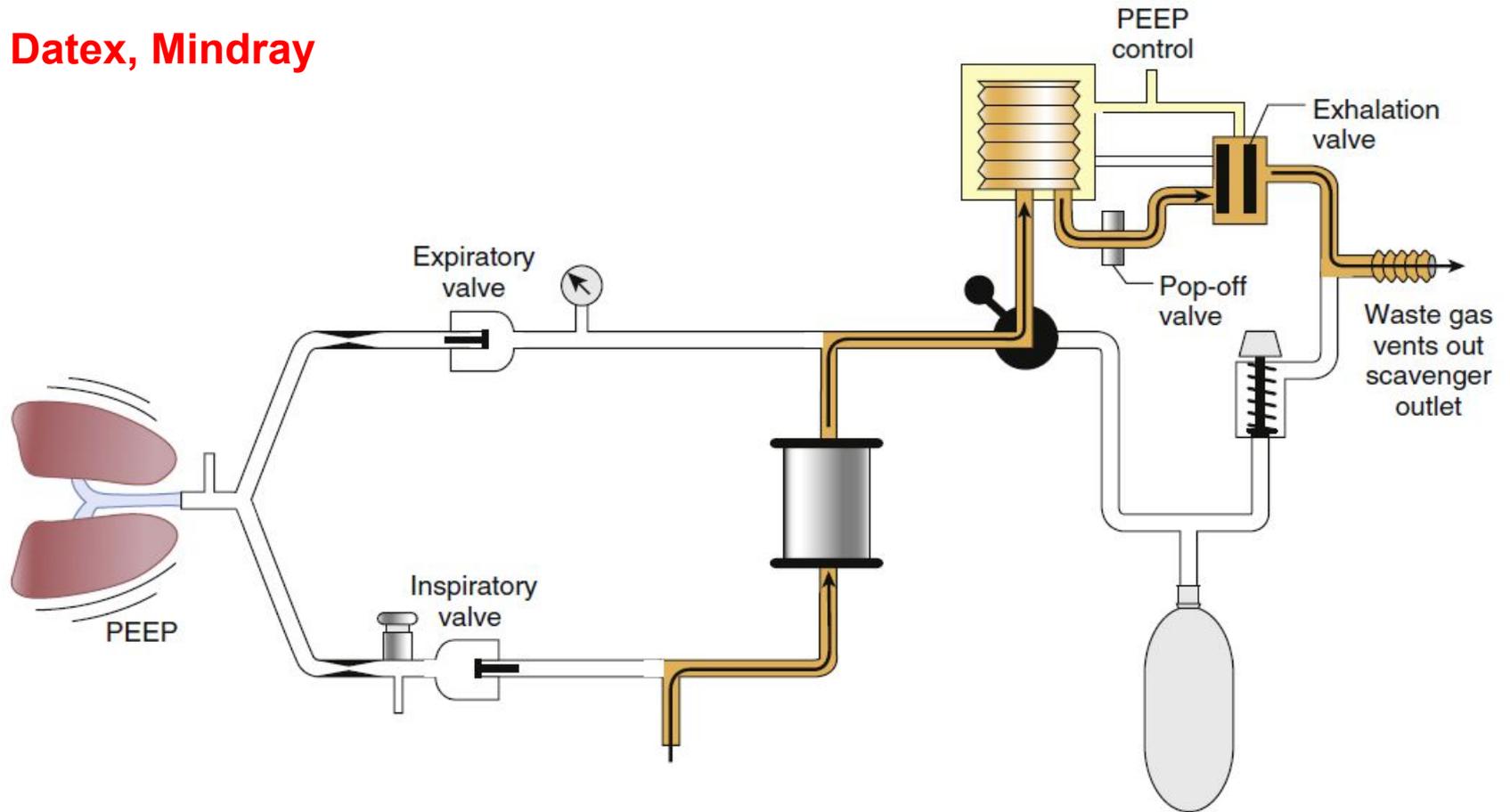
Выдох при аппаратной вентиляции

Datex, Mindray

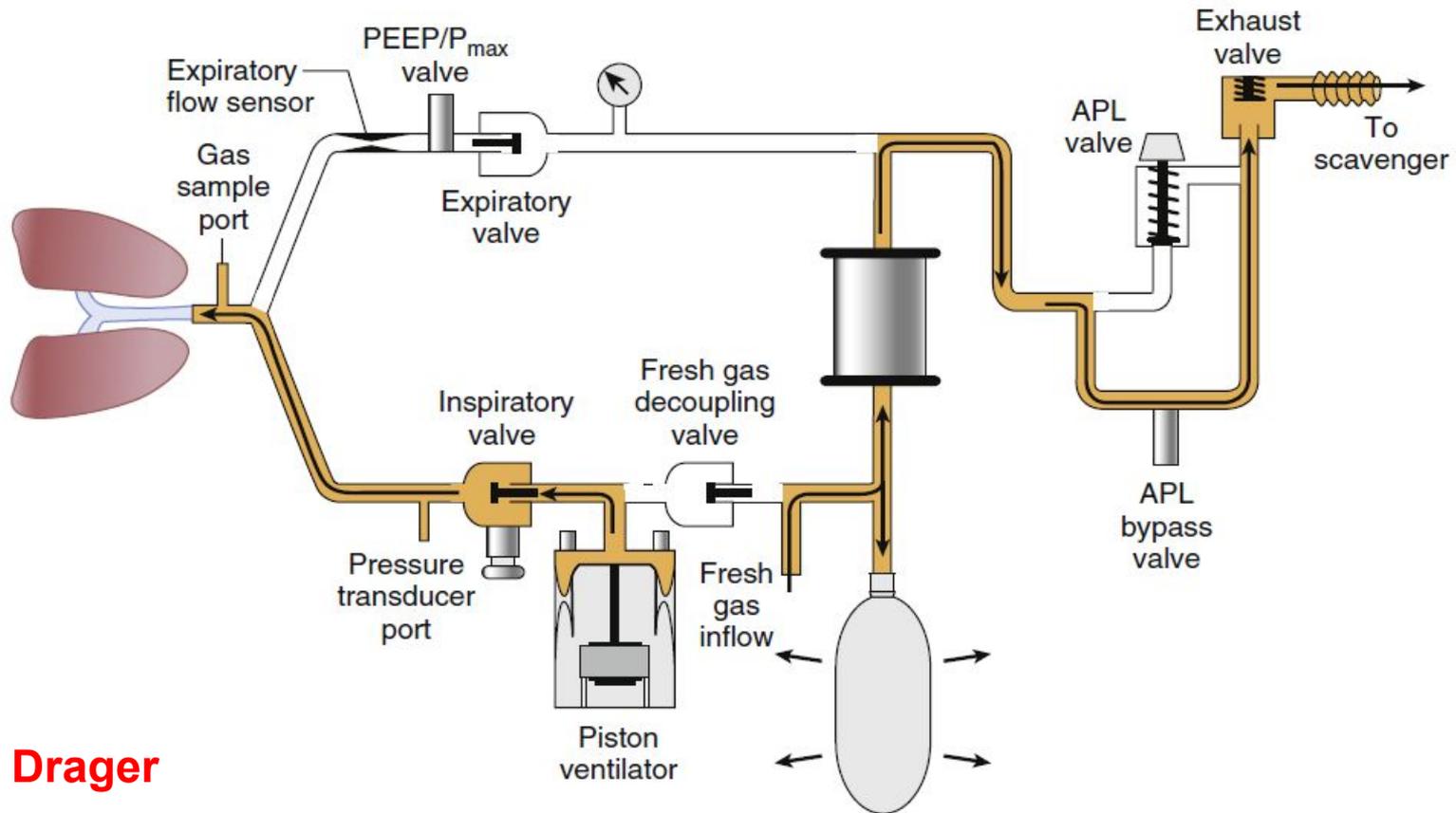


Сброс избытка газовой смеси

Datex, Mindray

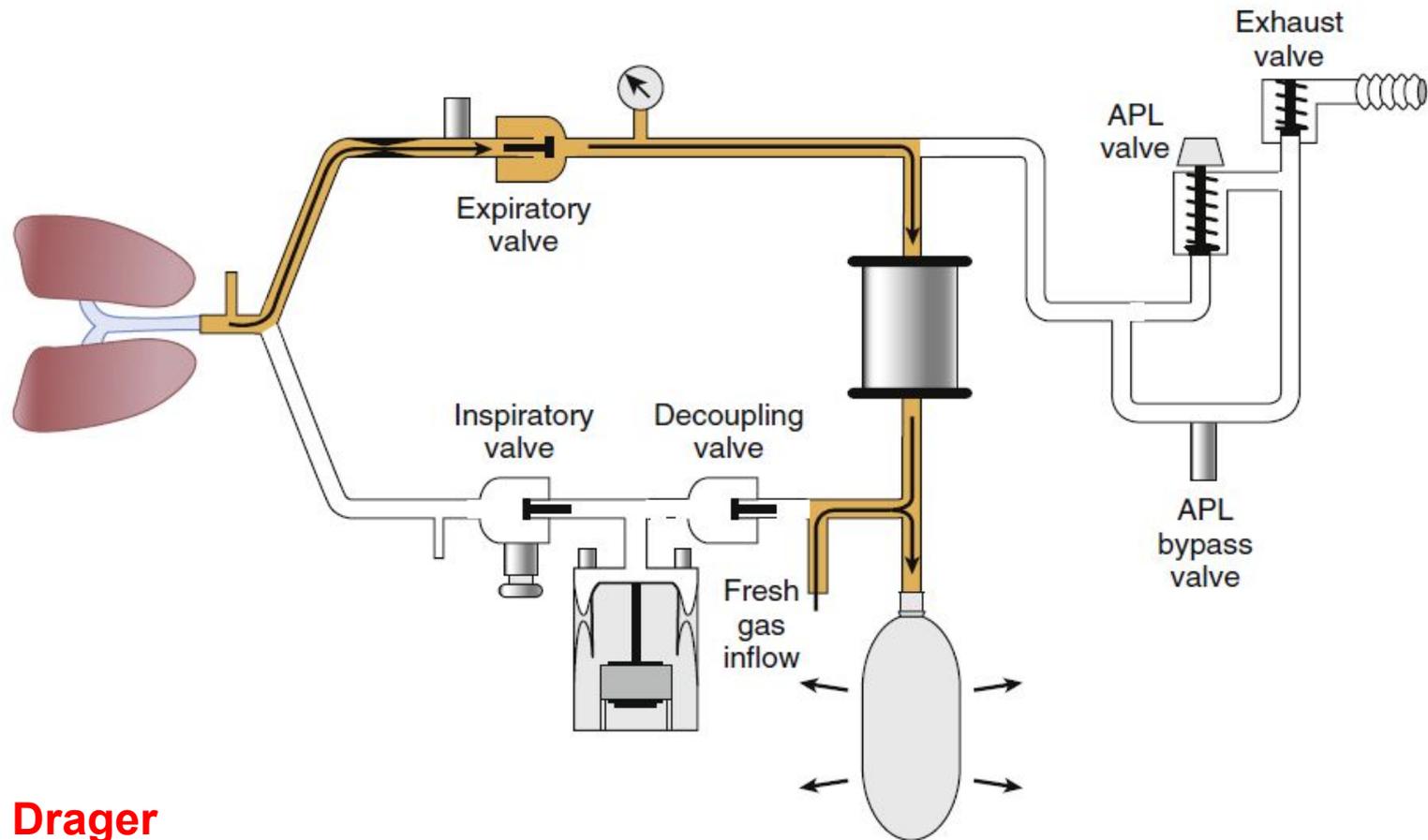


Вдох при аппаратной вентиляции с системой разобщения (decoupling)



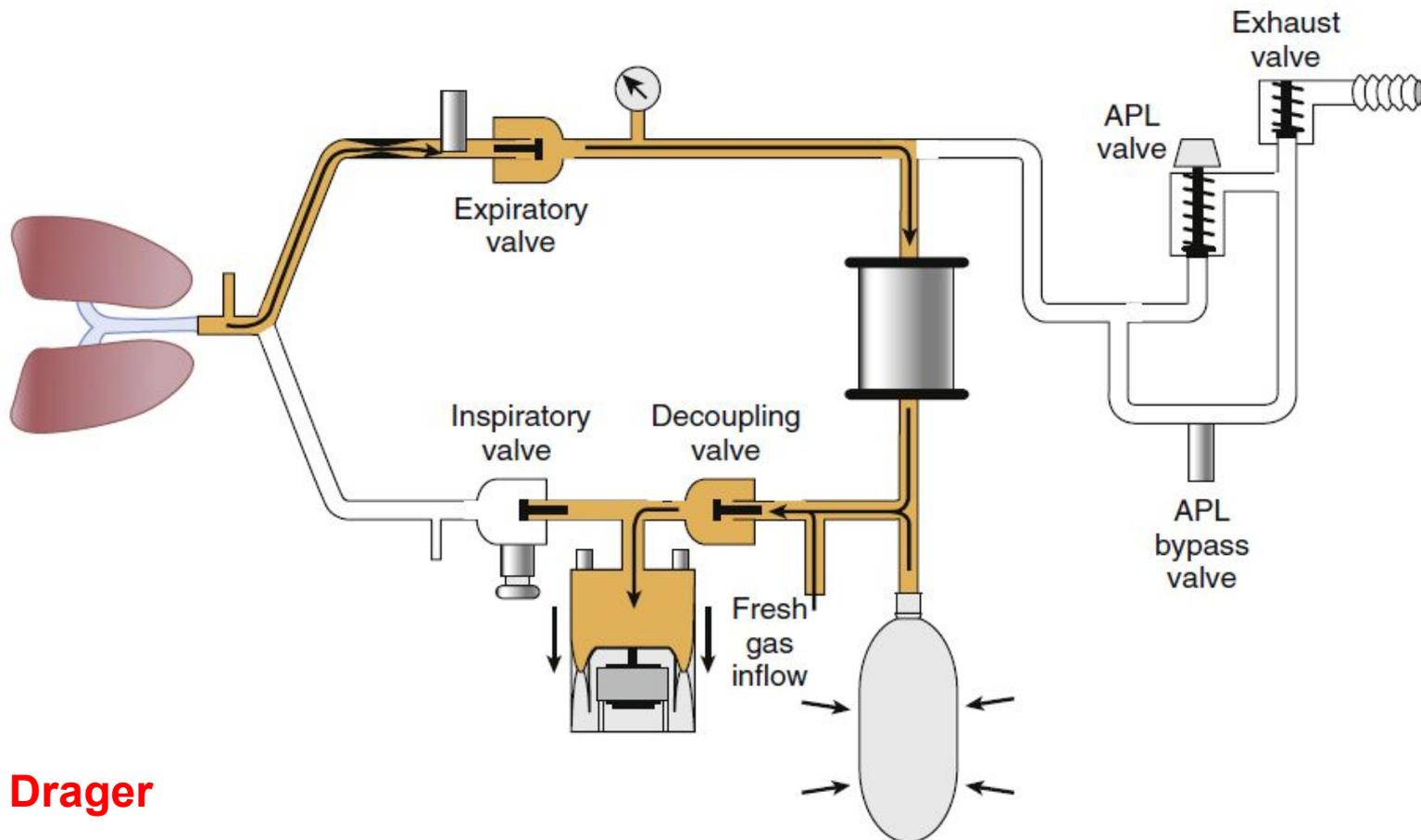
Dräger

Выдох при аппаратной вентиляции с системой разобщения (decoupling)

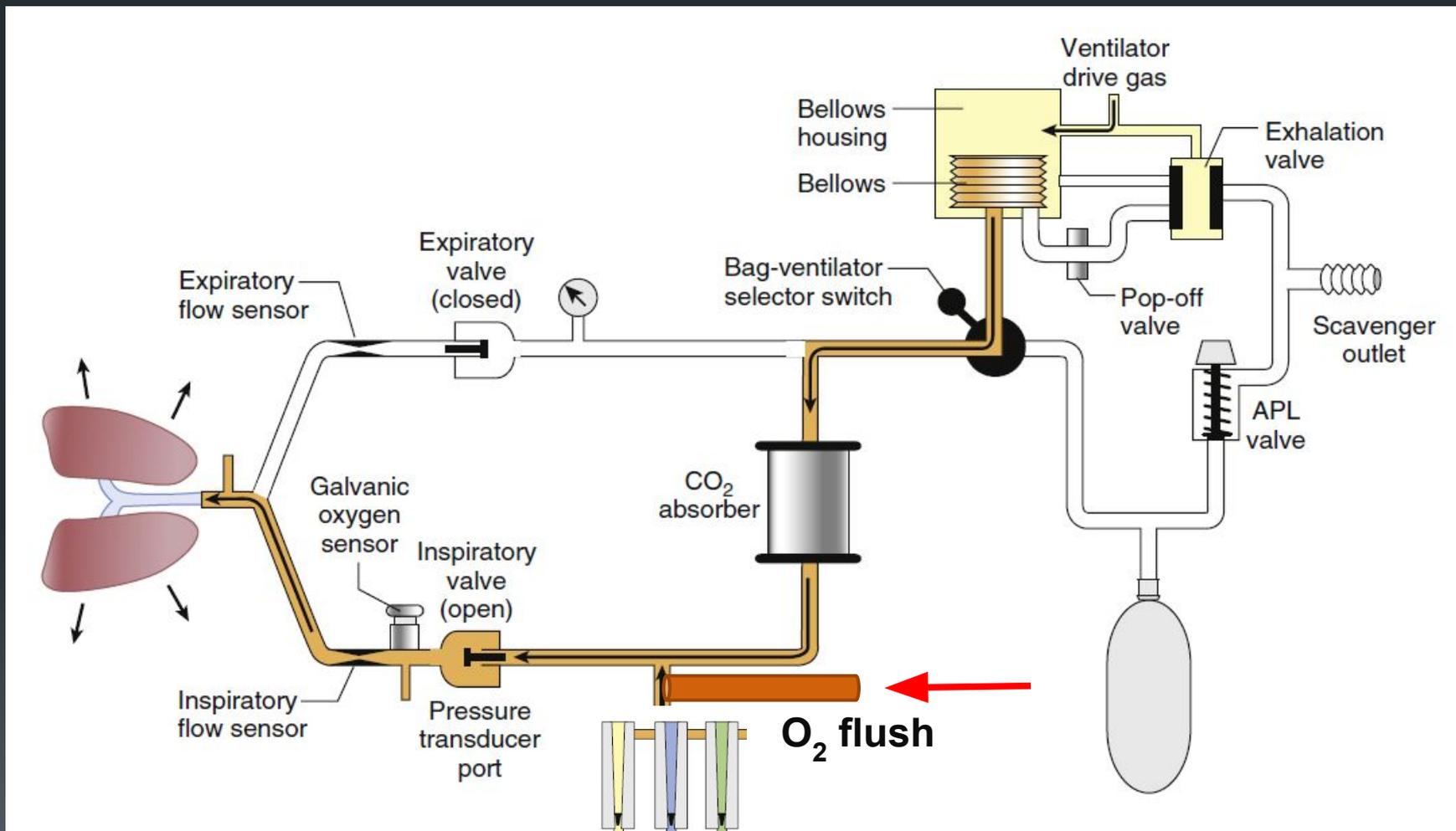


Drager

Отвод поршня при аппаратной вентиляции с системой разобщения (decoupling)



Вдох при аппаратной вентиляции с системой разобщения (decoupling)



Нажатие кнопки O₂ Flush

ОСНОВЫ ИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИИ



Поглощение анестетика

$$\text{Uptake} = \lambda_{b/g} \times C_{(A-V)} \times (\dot{Q})$$

формула Lowe

- Где $\lambda_{b/g}$ - коэффициент распределения кровь/газ
- $C_{(A-V)}$ – разница между альвеолярной и венозной концентрацией анестетика
- Q – сердечный выброс
- Потребление анестетика обратно пропорционально квадратному корню времени.

Т. е: на 4 минуте – $\frac{1}{2}$ от первой минуты

на 9 минуте – $\frac{1}{3}$ от первой минуты

на 16 минуте – $\frac{1}{4}$ от первой минуты

на 25 минуте – $\frac{1}{5}$ от первой минуты

на 36 минуте – $\frac{1}{6}$ от первой минуты

Среднестатистическое поглощение анестетиков ($m = 70$ кг)

▪ Сеофлюран: 1 минута – 82 мл

4 минута – 41 мл

9 минута – 27 мл

16 минута – 20 мл

25 минута – 16 мл

▪ N_2O : 1 минута – 1000 мл

4 минута – 500 мл

16 минута – 250 мл

минута – 125 мл

Общее количество поглощенного анестетика

- Является интегрированным значением (время не является статичным) и рассчитывается в виде площади под кривой (area under curve).
- Общее количество = $2 \times$ потребление на 1-ой минуте \times квадратный корень времени

Т.е. для севофлюрана:

к концу 1 минуты поглощение составит: $2 \times 82 = 164$ мл,

к концу 4 минуты: $2 \times 82 \times 2 = 328$ мл

к концу 9 минуты: $2 \times 82 \times 3 = 492$ мл

к концу 16 минуты: $2 \times 82 \times 4 = 656$ мл

и т.д.

Парадокс низких потоков

Масса тела = 70 кг, ПСГ = 1000 мл/мин, 2% севофлюрана на испарителе

Время, минуты	Количество паров севорана в ПСГ	Поглощение севорана, в мин
1	20	82
4	20	41
9	20	27
16	20	20
25	20	16
ИТОГО:	500 мл	820 мл

Вывод: через полчаса анестезии с ПСГ 1л и севофлюраном 2% на испарителе насыщения севофлюраном НЕ НАСТУПАЕТ!!!



Потребление кислорода

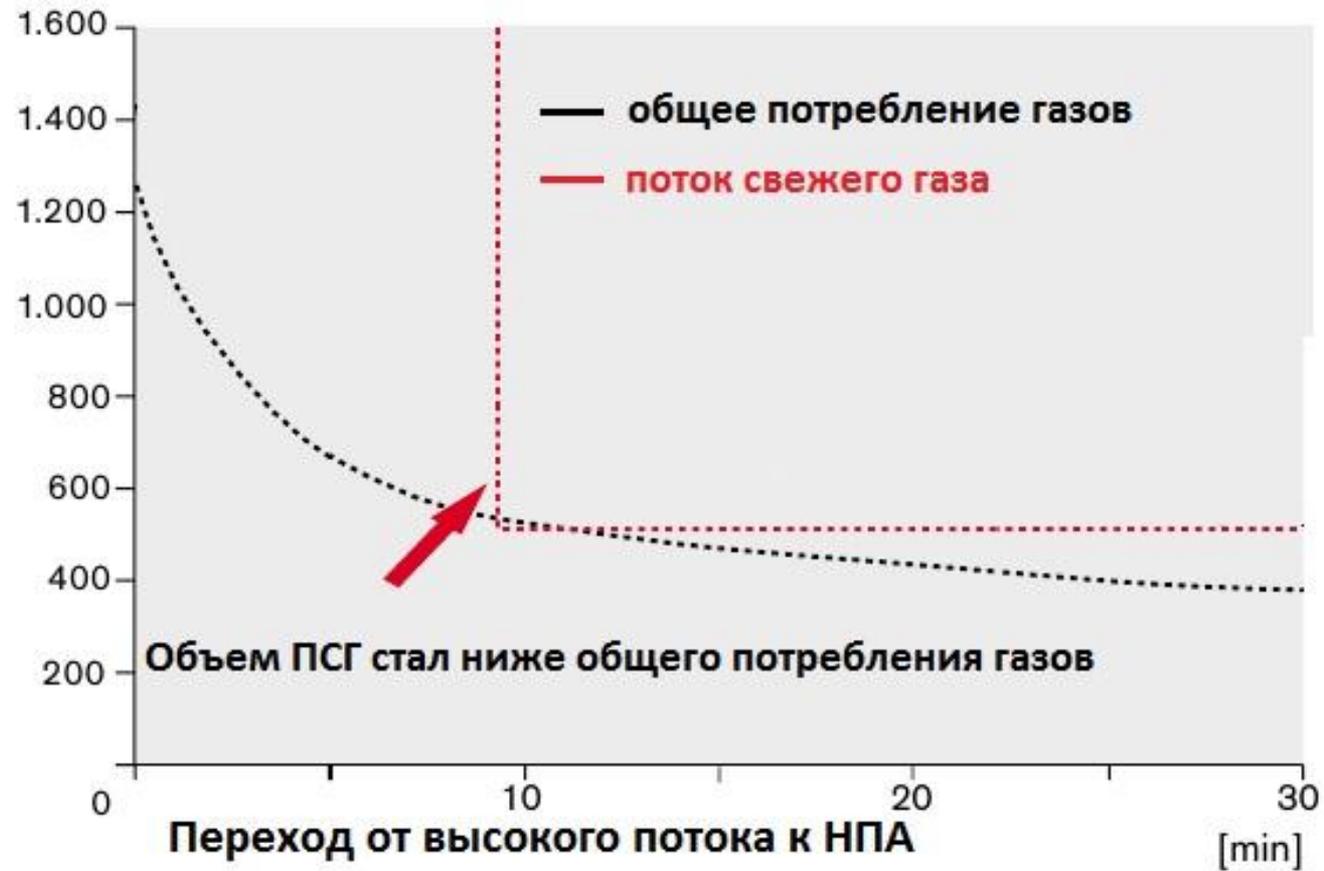
- Приблизительно составляет 3,5 мл/кг/мин!!!
- У человека массой тела 70 кг примерно равно 250 мл/мин!!!



N.B.!!!

Поскольку кумулятивное поглощение N_2O к концу первой минуты в среднем составляет 2000 мл, то количество N_2O в ПСГ должно быть не менее 2000 мл в течение первой минуты анестезии!!!

Что будет, если дать меньший поток????



Дефицит газа в контуре!!!

ПОТРЕБЛЕНИЕ > ДОСТАВКА



- Если в начальную фазу анестезии, когда потребление закиси азота наиболее высоко, слишком рано снизить ПСГ, может возникнуть дефицит объема газа в контуре.

- Поэтому начальная фаза высокого потока должна составлять:

- 10 мин при НПА

- 15 мин при МПА

у некоторых пациентов может длиться до 20 минут.

ВОПРОС:

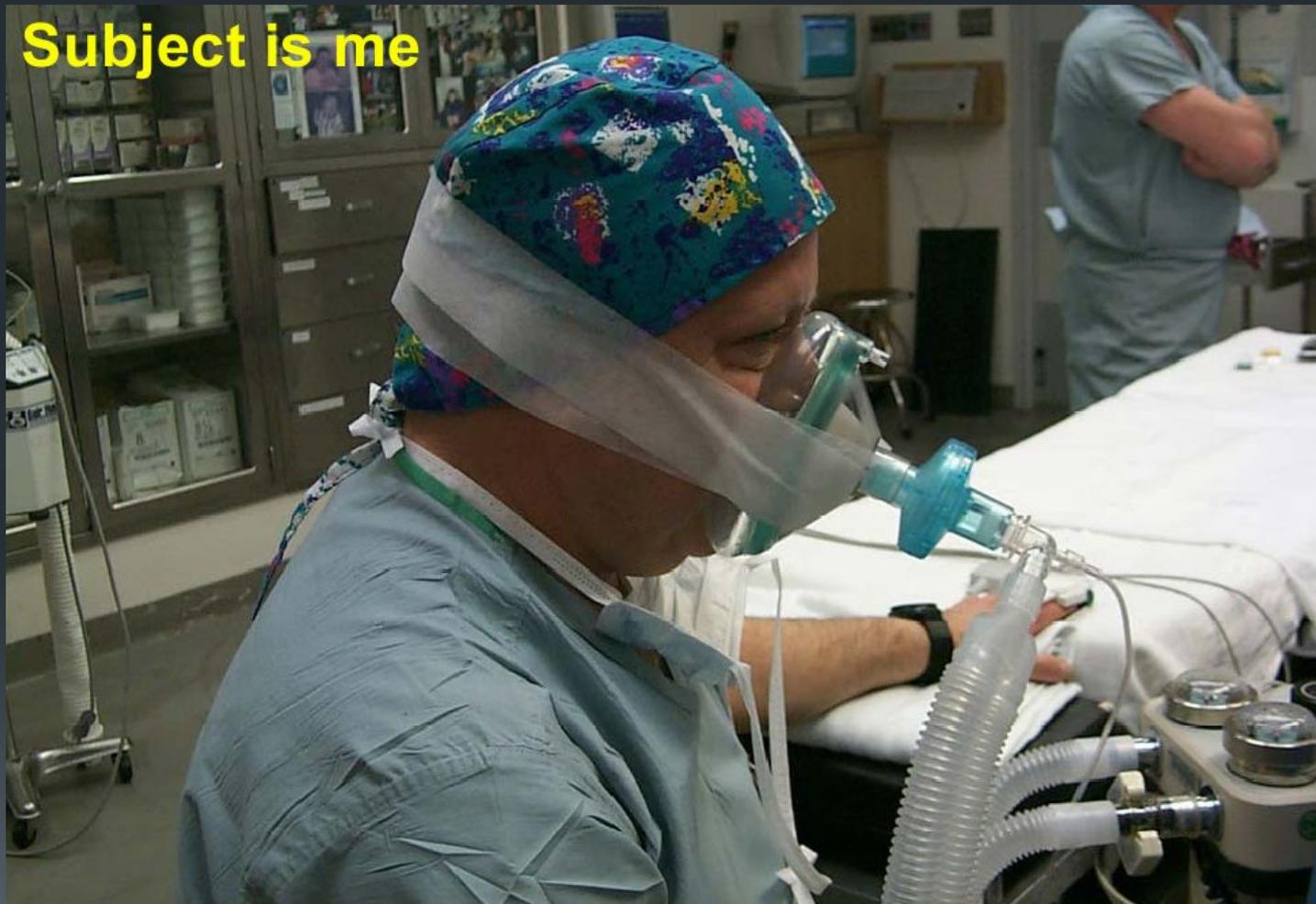
- Стандартный НДА
- Все работает (абсорбент и пр...)
- ПСГ = 1 л/мин воздух
- Другие газы выключены
- Пациент будет жить или умрет?
- Предположим, что потребление кислорода составляет 0,21 л/мин.

ОТВЕТ:

Будет жить/умрет = 98:2

Клинический эксперимент

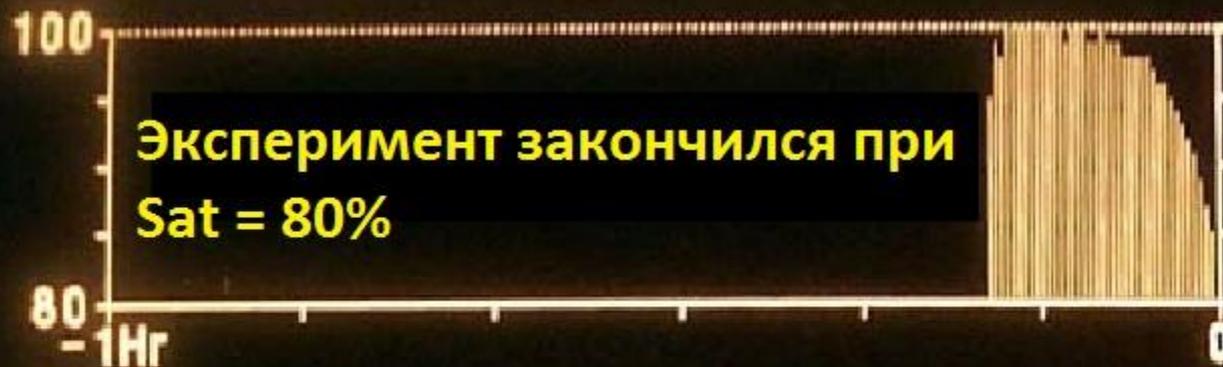
Subject is me



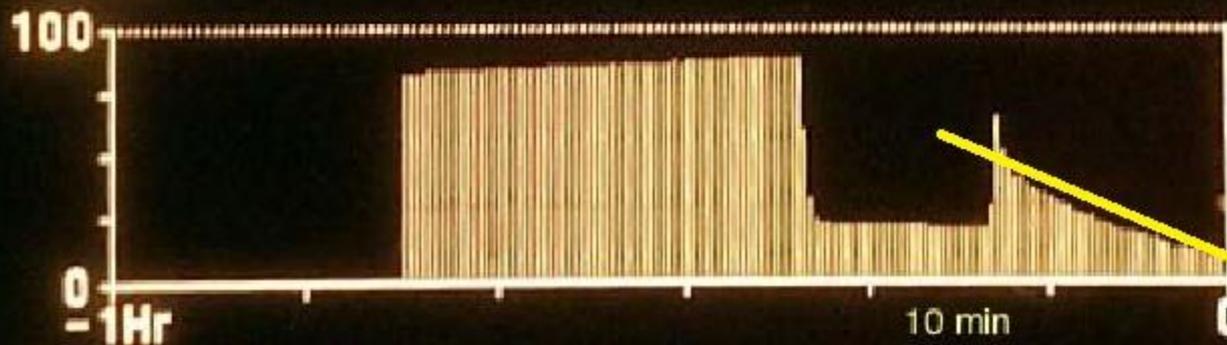
Результат эксперимента

Graphic Trend

Page 2 of 4



SpO₂
82



O₂
8
FiO₂ снизилось до 8%

Выводы из эксперимента

- Стартовая концентрация газов в контуре не остается одинаковой с течением анестезии.
- Концентрация газов в контуре изменится в зависимости от количества газов, поглощенных пациентом и количества газов, поступивших в контур в виде ПСГ.
- **ИТОГОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ГАЗОВ = ПСГ – поглощение газов**

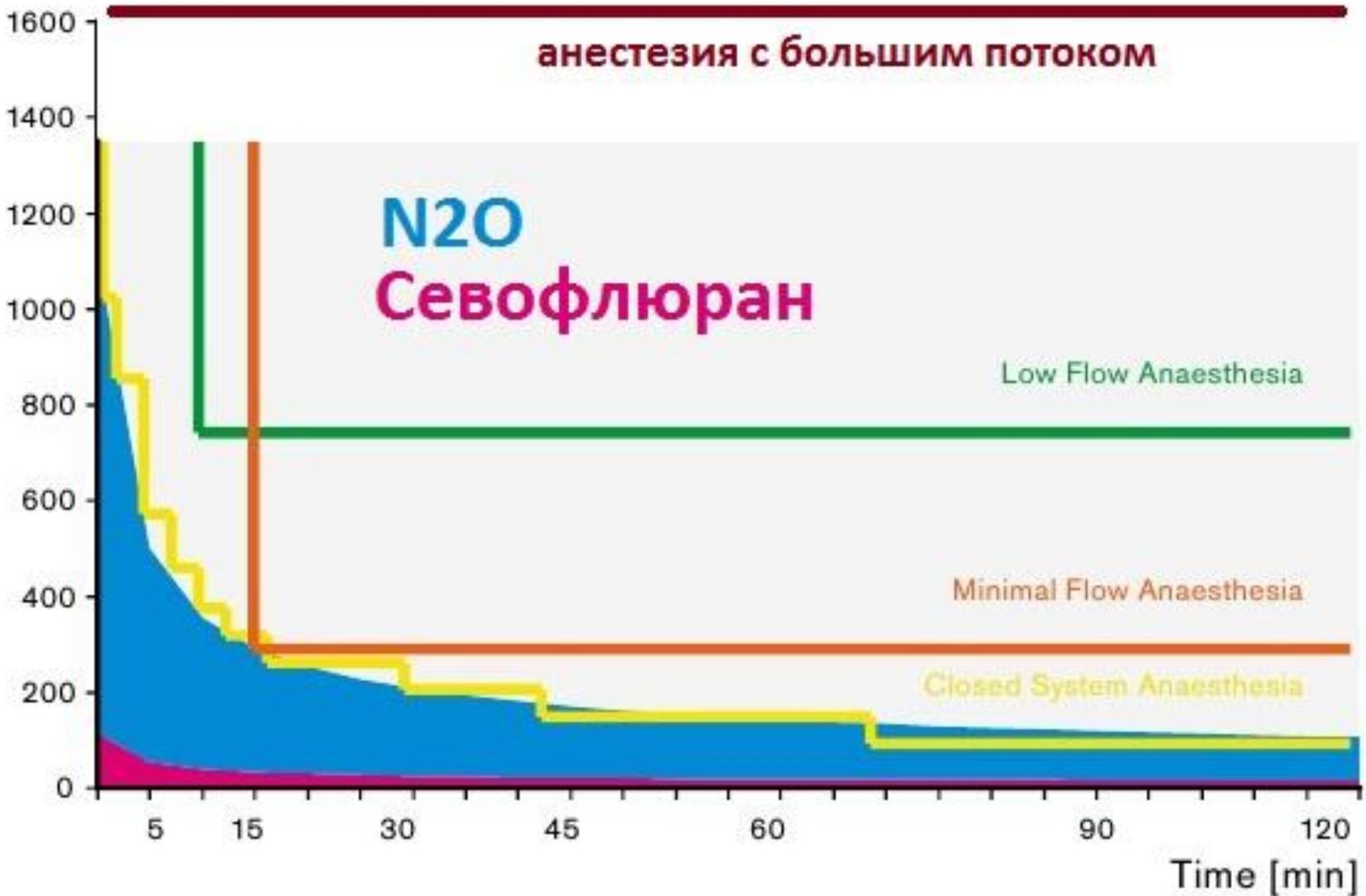


Фазы НПА

- Инициация НПА
- Поддержание НПА
- Прекращение НПА

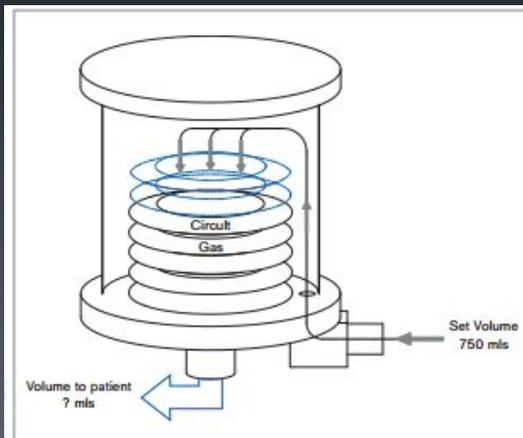
Начальная фаза высокого потока

- Достаточная денитрогенация (важна при использовании N_2O)
 - Быстрое насыщение дыхательного контура желаемым составом газа
 - Достижение желаемой концентрации анестетика
 - Избегание дефицита объема газа в контуре
-
- При использовании смеси кислород/закись азота взрослый пациент на 10 минуте в среднем потребляет 570 мл газа в минуту. В это время ПСГ может быть уменьшен до 1 л/мин без каких-либо проблем.



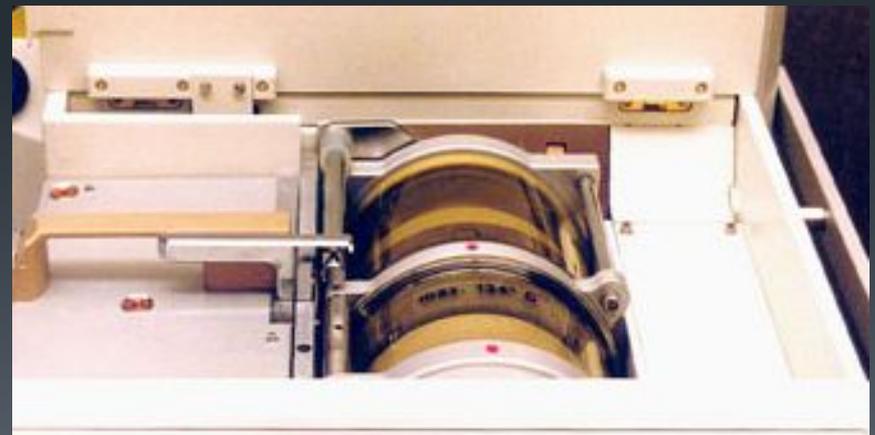
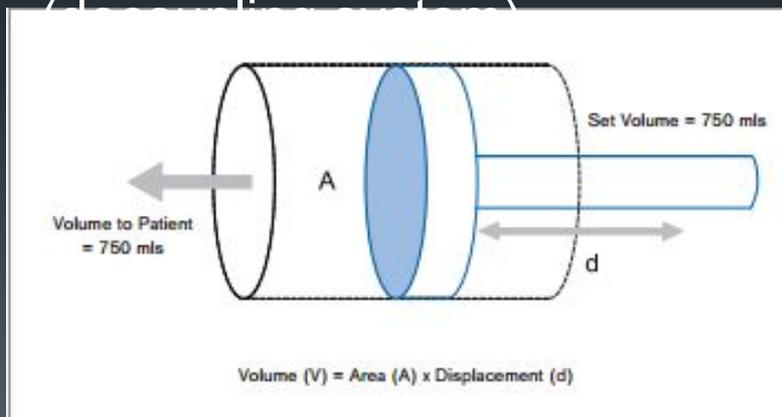
Признаки дефицита газовой смеси в контуре:

- **Пневмопривод** (Datex Ohmeda, Datex Engstrom, Mindray WATO) – снижение высоты расправления меха. Расправление меха происходит пассивно во время выдоха под действием эластичной тяги грудной клетки пациента. Сжатие меха происходит под действием сжатого кислорода, поступающего в банку.
- Поскольку емкость меха превышает ДО, мех может служить резервуаром для объема газа в контуре (bag-in-bottle, bellows-in-box).



Признаки дефицита газовой смеси в контуре:

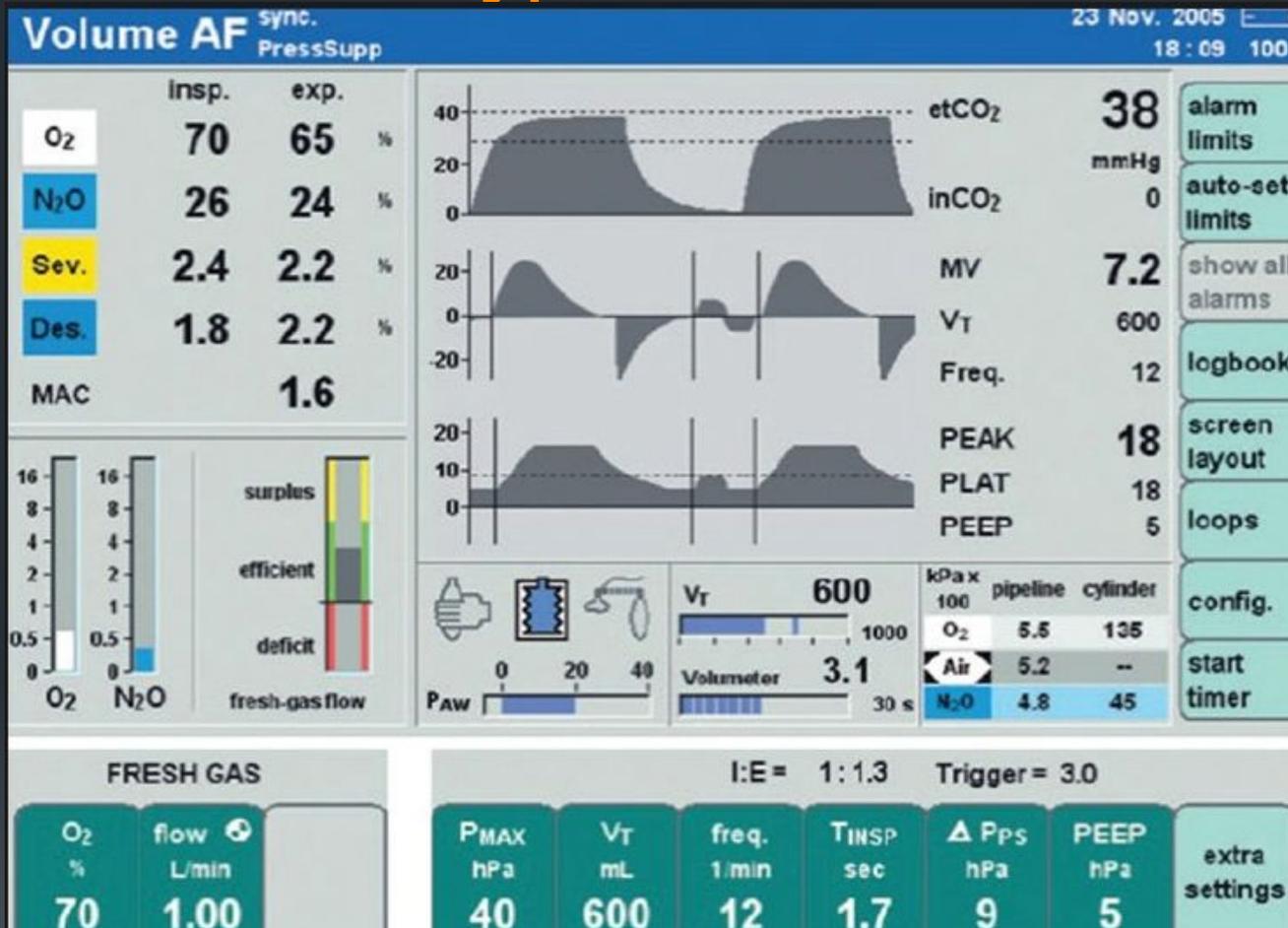
- **Поршневой привод** (Drager Primus, Fabius, серия аппаратов МК) – создание отрицательного давления перед аппаратным вдохом, спадение мешка-резервуара!!!
- Расправление и сжатие поршня происходит активно (электропривод) независимо от наличия достаточного объема газа в контуре.
- Роль резервуара газа играет мешок ручной вентиляции (Resuscitator)



Последствия дефицита газа в контуре:

- При невозможности расправить мех в **пневмоприводах** происходит *снижение подачи установленного дыхательного объема*.
- При создании отрицательного давления в **поршневых** приводах происходит *засасывание воздуха из операционной в контур через предохранительный клапан (результат - разведение концентрации анестетиков, Drager Primus, Julian, Fabius) ИЛИ остановка поршня до конца вдоха (результат - снижение дыхательного объема, Drager Cato, Cicero)*.

Признаки дефицита газовой смеси в контуре:



- Drager Primus, MK1-2 – отрицательное давление перед аппаратным вдохом, тревожная сигнализация!

Преимущества разных типов мехов:

- Поршневой привод – более точное регулирование дыхательных объемов. Особенно важно в неонатологии и педиатрии. Нет перерасхода кислорода на работу меха. Следствие – более простая эвакуация отработанных газов.
- Пневмопривод – заранее видно о снижении объема газа в контуре. Вследствие расправления меха под действием выдоха пациента происходит создание небольшого ПДКВ (2-3 см вод. ст.).



Изменение концентрации газов в контуре

- Представим ситуацию, когда потребление кислорода составляет 200 мл/мин (0.2 л/мин), а потребление закиси – 100 мл/мин (0.1 л/мин). Например, второй час анестезии.

Изменение итоговой газовой смеси, ПСГ = 1 л/мин, воздух

	Поток	Кислород	Азот
ПСГ, л/мин	1.0	0.2	0.8
Потребление	-0.2	-0.2	-0.0
Итоговый остаток	0.8	0.0	0.8

Итоговая $FiO_2 = 0/0.8 = 0\%$

Результат - смерть пациента

ПСГ = 1,2 л/мин

(воздух 1 л/мин + кислород 0.2 л/мин)

	Поток	Кислород	Азот
ПСГ воздух, 1 л/мин	1.0	0.2	0.8
ПСГ O ₂ , 0.2 л/мин	0.2	0.2	0.0
Потребление	-0.2	-0.2	-0.0
Итоговый остаток	1.0	0.2	0.8

Итоговая FiO₂ = 0.2/1.0 = 20%

Поток свежего газа = 8 л/мин (кислород/N₂O)

	Поток	Кислород	Закись азота
ПСГ, л/мин	8.0	3.0	5.0
Потребление	-0.3	-0.2	-0.1
Итоговый остаток	7.7	2.8	4.9

FiO_2 установленная = $3.0/8.0 = 37.5\%$

Итоговая $FiO_2 = 2.8/7.7 = 36\%$

Результат: концентрация газов в контуре при высоком ПСГ практически не отличается от установленной!!!

Низкопоточковая анестезия (ПСГ = 1 л/мин, кислород/N₂O = 1:1).

	Поток	Кислород	Закись азота
ПСГ, л/мин	1.0	0.5	0.5
Потребление	-0.3	-0.2	-0.1
Итоговый остаток	0.7	0.3	0.4

FiO_2 установленная = $0.5/0.5 = 50\%$

Итоговая $FiO_2 = 0.3/0.7 = 43\%$

Результат: итоговая концентрация газов в контуре отличается от установленной!!!

Низкопоточковая анестезия (ПСГ = 0,6 л/мин, кислород/N₂O = 1:1).

	Поток	Кислород	Закись азота
ПСГ, л/мин	0.6	0.3	0.3
Потребление	-0.3	-0.2	-0.1
Итоговый остаток	0.3	0.1	0.2

FiO_2 установленная = $0.5/0.5 = 50\%$

Итоговая $FiO_2 = 0.1/0.3 = 33\%$

Результат: итоговая концентрация газов в контуре еще сильнее отличается от установленной, чем при потоке 1 л/мин!!!

Неправильное соотношение газов при НПА: ПСГ = 0,9 л/мин кислород/N₂O = 1:2

	Поток	Кислород	Закись азота
ПСГ, л/мин	0.9	0.3	0.6
Потребление	-0.3	-0.2	-0.1
Итоговый остаток	0.6	0.1	0.5

FiO_2 установленная = $0.3/0.9 = 33\%$

Итоговая $FiO_2 = 0.1/0.6 = 16-17\% =$ гипоксическая смесь!!!

Минимально-поточковая анестезия, ПСГ = 0,3 л/мин, кислород

	Поток	Кислород	Азот
ПСГ, л/мин	0.3	0.3	0.0
Потребление	-0.2	-0.2	-0.0
Итоговый остаток	0.1	0.1	0.0

FiO_2 установленная = $0.3/0.3 = 100\%$

Итоговая $FiO_2 = 0.1/0.1 = 100\%$

На практике 100% FiO_2 не достигается из-за наличия дополнительных газов в контуре (в норме – остатки азота)

Ингаляционные анестетики

- Выход паров любого анестетика из испарителя ограничен!!!
- Если потребление высоко, то при низком ПСГ количества анестетика недостаточно для поддержания адекватной глубины анестезии.
- При потоке 0.5 литра максимальное количество севофлюрана, которое поступит в контур, составит 40 мл (максимальное значение испарителя – 8%)
- При потоке 0.5 литра максимальное количество изофлюрана, которое поступит в контур, составит 25 мл (максимальное значение испарителя – 5%)

СЕВОФЛЮРАН И НПА

- Севофлюран подчиняется тем же правилам, что и закись азота.
- Потребление севофлюрана составляет 82 мл в течение первой минуты
- Если выставить 8% на испарителе, в течение первой минуты необходим ПСГ не менее 1 л/мин, чтобы удовлетворить потребность в севофлюране.

$$1000 \text{ мл} \times 8\% = 80 \text{ мл}$$

СЕВОРАН БЕЗОПАСЕН ПРИ ЛЮБОМ ПСГ!

ПСГ = 0,5 л/мин + севофлюран 8%

	Поток	Кислород	Севофлюран
ПСГ O ₂ , 0,5 л/мин	0.5	0.5	0.0
ПСГ севофлюран, 8%	0.04	0.0	0.04
Потребление	-0.24	-0.2	-0.04
Итоговый остаток	0.3	0.3	0.0

Fi севофлюрана установленная = 8%

Fi севофлюрана итоговая = $0.0/0.3 = 0\%$

При потоке 0,5 л/мин даже максимального значения севофлюрана 8% на испарителе недостаточно, чтобы поддерживать устойчивую концентрацию в контуре в начале анестезии!!!

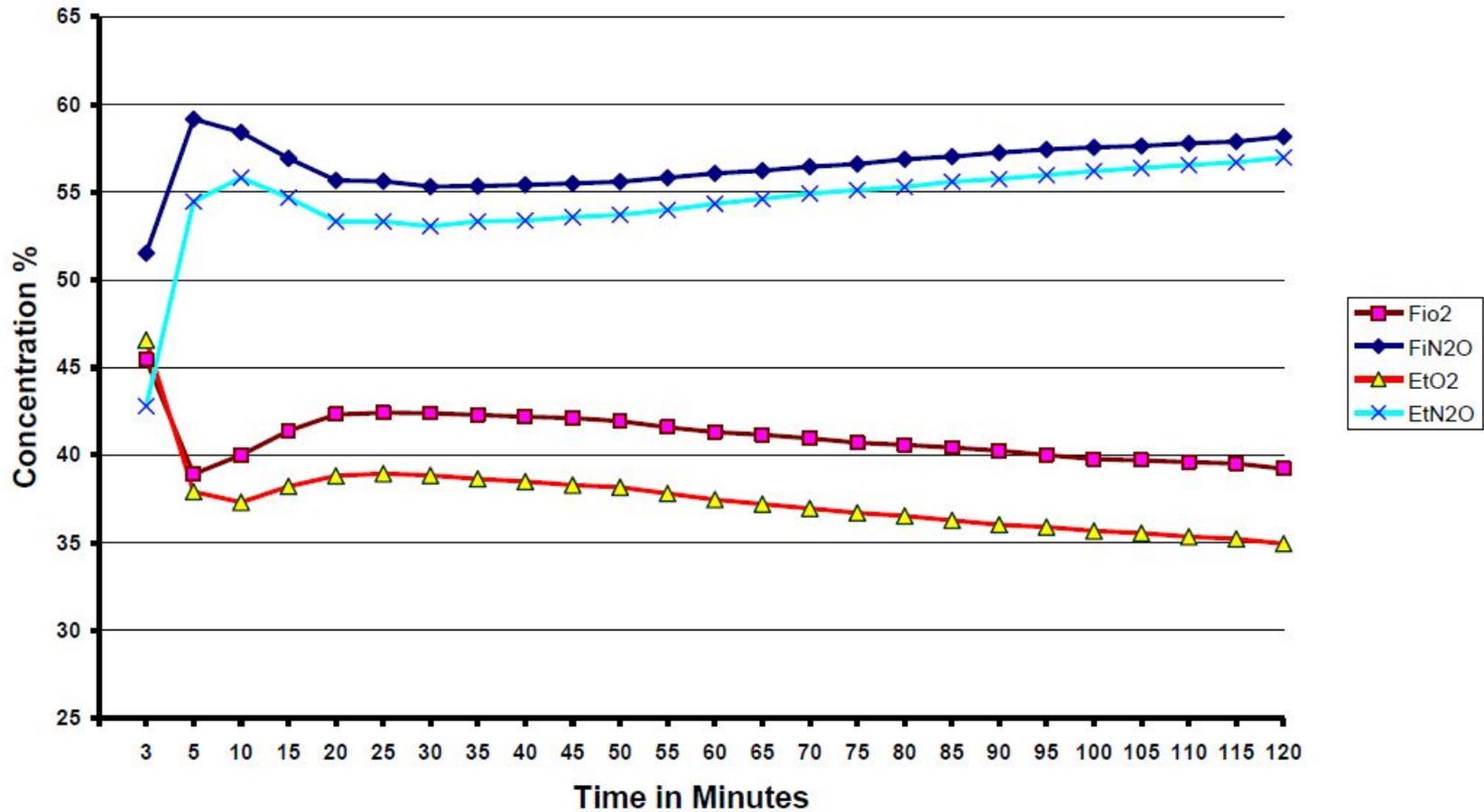
ВЫВОДЫ

- При НПА с ПСГ = 1 л/мин концентрация кислорода в свежем газе должна быть увеличена до 50% и составлять не менее 40%
- При МПА с ПСГ = 0,5 л/мин концентрация кислорода в свежем газе должна быть увеличена до 60% и составлять не менее 50%.
- При этом итоговая FiO_2 у большинства пациентов будет гарантировано не менее 30%.
- Чем ниже ПСГ, тем выше должна быть концентрация анестетика на испарителе!

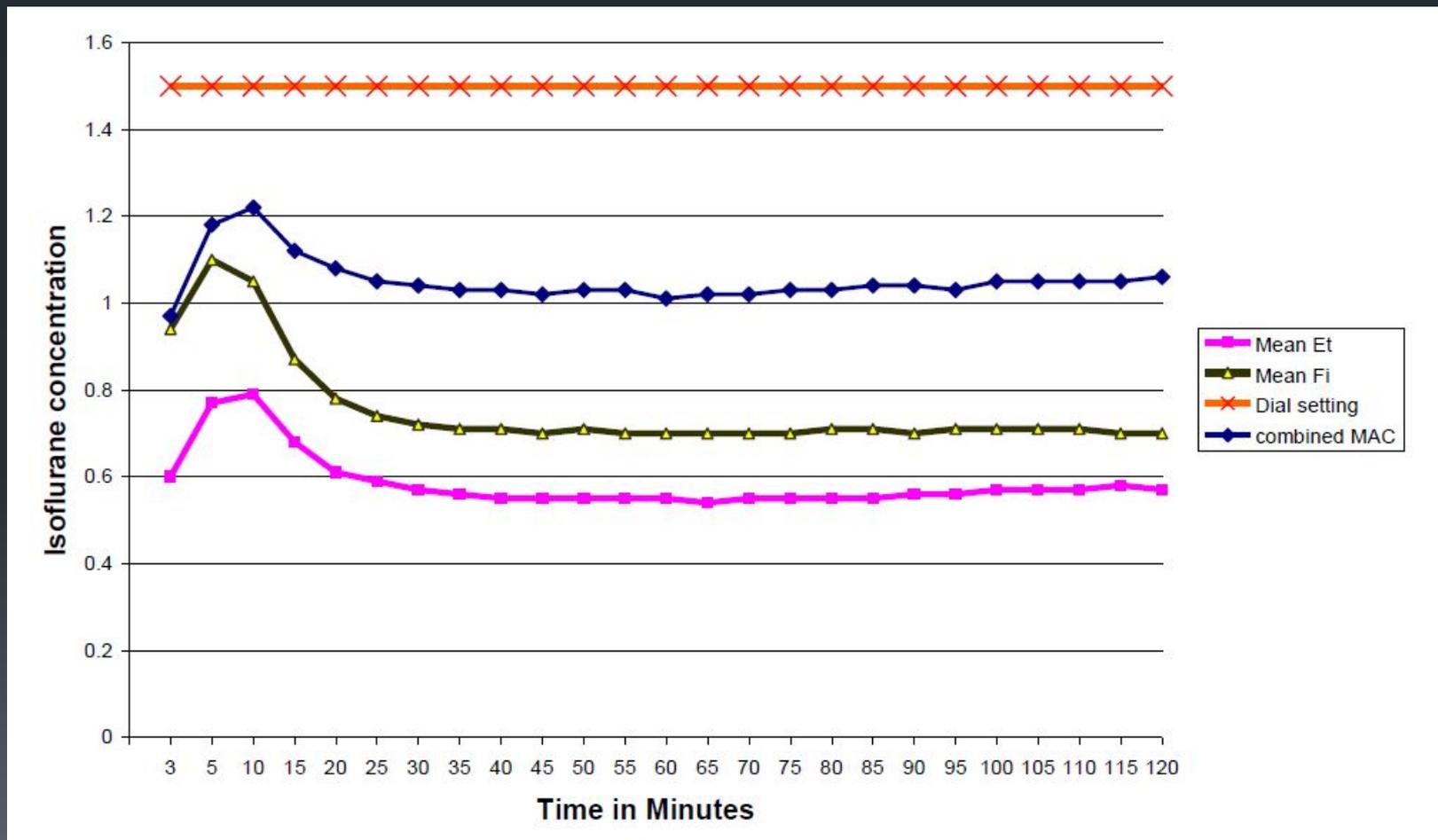
Изменение F_iO_2 со временем

- При длительной анестезии F_iO_2 будет постепенно снижаться вследствие снижения потребления N_2O .
- Будет наблюдаться постепенное снижение F_iO_2 и рост F_iN_2O .
- Необходимо периодически изменять пропорции O_2 / N_2O в ПСГ для поддержания $F_iO_2 > 30\%$.

Изменение FiO_2 со временем



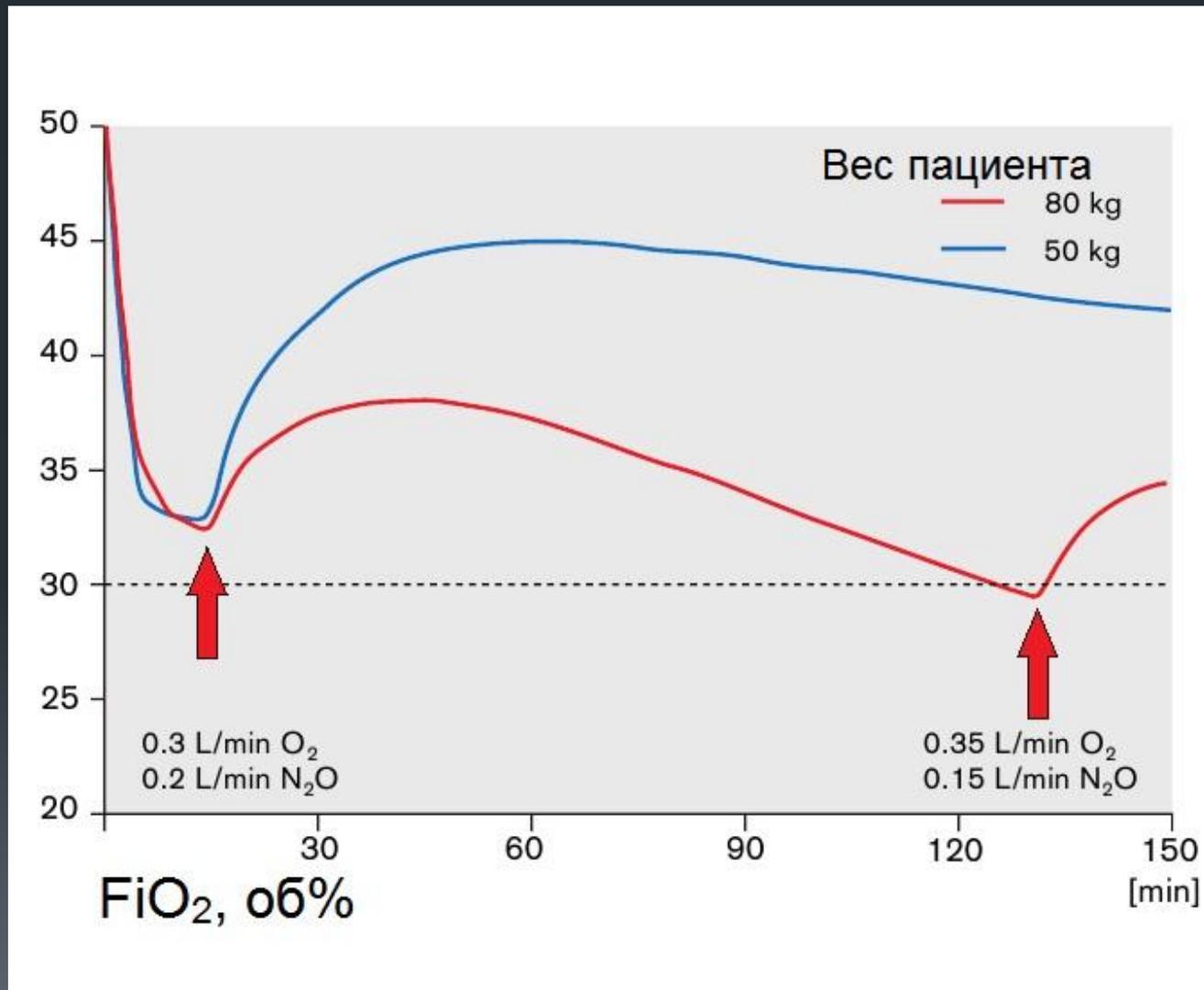
Изменение изофлюрана со временем



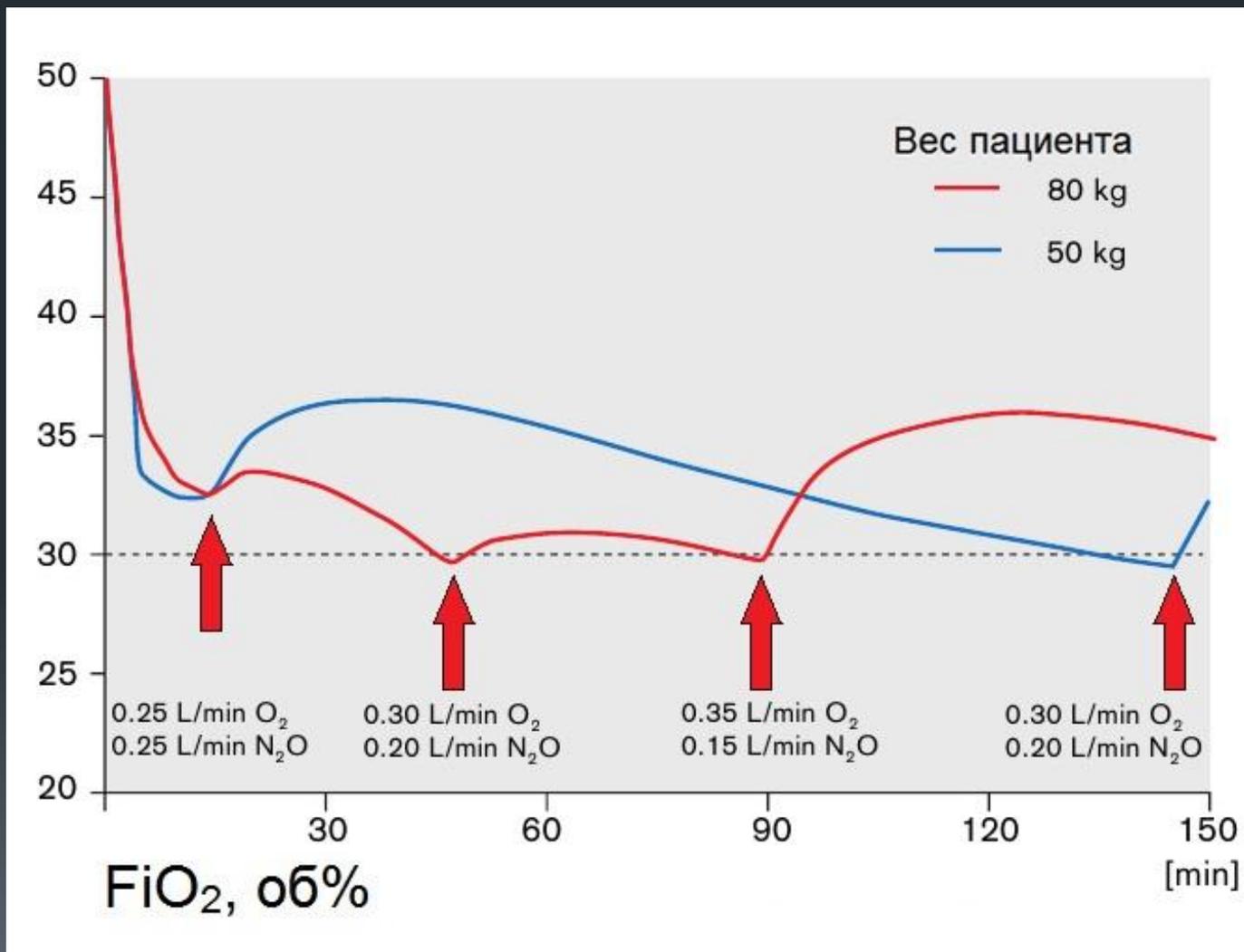
При снижении F_iO_2 в контуре <30% рекомендовано:

- При НПА: ↑ потока O_2 на 100 мл, ↓ потока N_2O на 100 мл.
- При МПА: ↑ потока O_2 на 50 мл, ↓ потока N_2O на 50 мл.
- При анестезии по закрытому контуру ↑ потока O_2 на 100 мл.

Регулирование состава газовой смеси в динамике



Высокое потребление кислорода



Временная константа

- ВК – это время, необходимое для изменения состава газа в дыхательном контуре.
- Рассчитывается по формуле Conway:

$$T = V_s / (\dot{V}_D - \dot{V}_U)$$

Где V_s – объем системы (контур + объем легких)

\dot{V}_D – количество анестетика, поступившего в систему, прямо пропорционально ПСГ

\dot{V}_U – количество поглощенного анестетика пациентом

Чем выше ПСГ, тем короче временная константа, чем ниже ПСГ, тем длиннее временная константа

- 
- К концу первой временной константы ($1 \times T$) концентрация анестетика или газа в системе достигнет 63%.
 - После $2 \times T$ концентрация достигнет 86.5%
 - После $3 \times T$ концентрация достигнет 95%

Это объясняет задержку нормализации желаемого состава газа в контуре при НПА и МПА.

Выход: использовать фазу высокого потока, высокую концентрацию анестетика или анестетик с низким потреблением и большей мощностью.

НПА и МПА можно проводить без закиси азота

- Аргументы в пользу N_2O :
 - Снижение потребности в опиоидах и анестетиках
 - Быстрое начало и пробуждение
 - Меньший эффект на сердечно-сосудистую систему
 - Подавляет рефлекторные движения

- **Противопоказания к использованию N₂O:**
- Наличие воздуха в тканях или полых пространствах
- Большое количество газа в кишечнике, кишечная непроходимость
- Увеличенное ВЧД
- Дефицит витамина B12
- Иммунодефицит, депрессия костного мозга, тяжелое истощение
- Послеоперационная тошнота и рвота в анамнезе
- Длительные абдоминальные операции (удлиняет восстановление)
- Тяжелая сердечная недостаточность
- Ранние сроки беременности, ЭКО

Закись азота – самый токсичный анестетик для медперсонала!!!

Преимущества НПА без N_2O

- Нет необходимости проводить денитрогеноацию
- Нет необходимости в длительной фазе высокого потока
- Меньше риск развития дефицита объема газа в контуре
- Меньше контаминация воздуха операционной
- Стабильное давление во всех воздухосодержащих полостях

Преимущества НПА и МПА только с кислородом в качестве газа-носителя

- Меньшая частота послеоперационных инфекций
- Меньшая частота послеоперационной тошноты и рвоты
- Снижение риска интраоперационной гипоксии
- Простота мониторинга
- Высокая $F_i O_2$ безопасна для пациента в течение 8-12 часов, особенно в сочетании с ПДКВ
- Метод противопоказан при ХОБЛ с увеличенной бронхиальной секрецией, у пациентов с химиотерапией, при использовании лазера

N.B.!

- Во время НПА в контуре могут накапливаться дополнительные газы: азот, ацетон, водород, метан, СО, пары этанола, мономеры акрила при протезировании суставов с использованием цемента
- Проведение МПА противопоказано, если:
 - Алкогольное опьянение (пары этанола)
 - Кетоацидоз (ацетон)
 - Пациент злосный курильщик (СО).

N.B.!

- При начальном ПСГ = 4 л/мин денитрогенация происходит через 6-8 мин, но растворенный в тканях азот (0,7 л) высвобождается медленно и может накапливаться в контуре.
- Концентрация азота при МПА может достигать 6-10 об%.
- Для вымывания азота из контура необходимо увеличивать ПСГ 1 раз в час на 1 мин либо при всяком необъяснимом снижении концентрации анестетиков в контуре.
- Быстрое истощение абсорбера!!!

N.B.!

- При увеличении потребности в кислороде проведение МПА не рекомендовано. Например, при сепсисе, гипертиреозе, гипертермии. Невозможно рассчитать потребление кислорода!!!



N.B.!

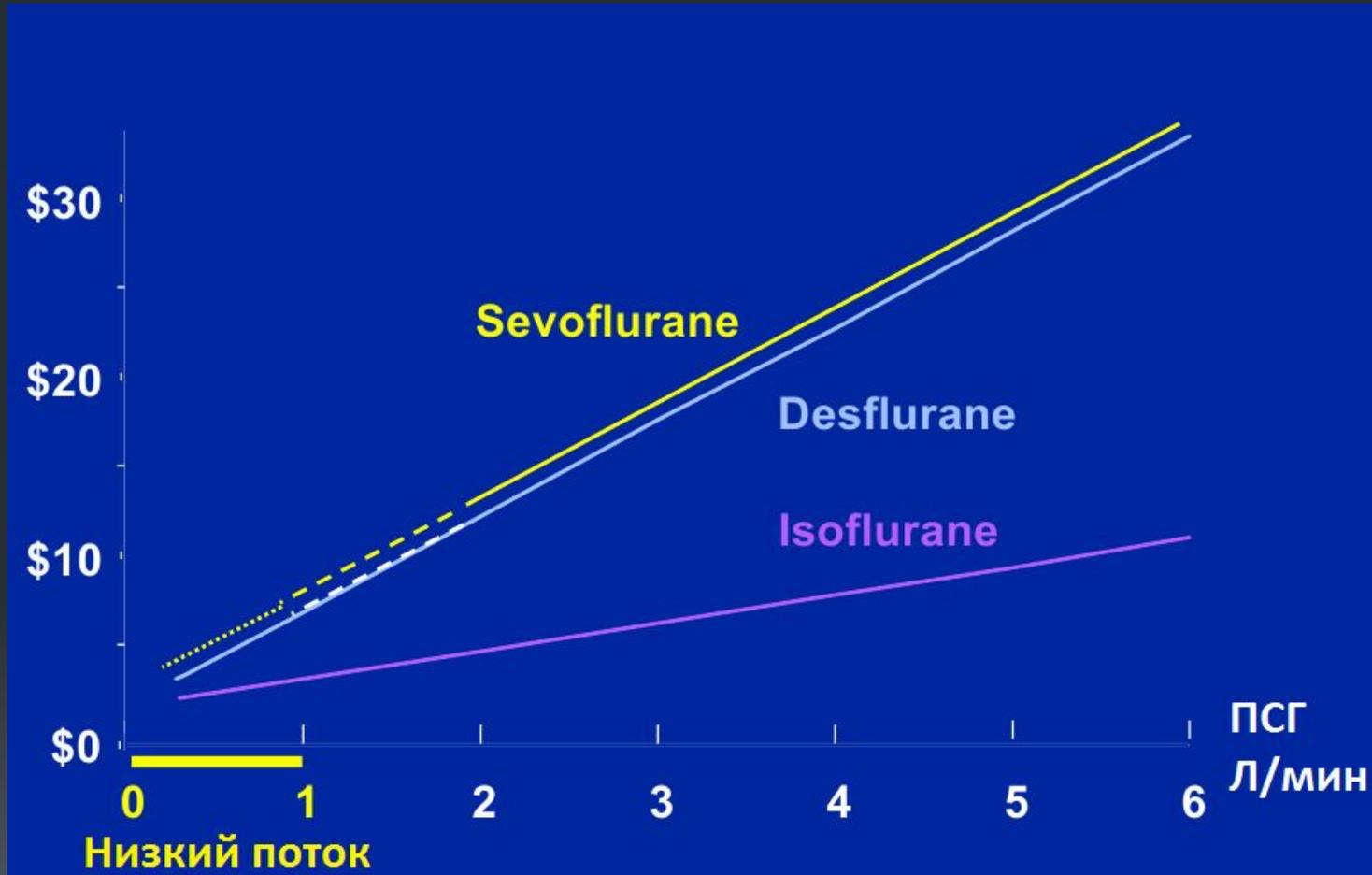
- При проведении МПА и анестезии по закрытому контуру необходимо учитывать газ, забираемый на пробу газоанализатором. В норме 200 мл/мин.
- Для проведения МПА необходимо, чтобы этот объем возвращался в контур, иначе возникнет дефицит объема.
- Drager Primus и аппараты МК1-2 – автоматический возврат газа в контур.
- Datex S/5 ADU – газ сбрасывается из модуля газоанализатора в атмосферу. Необходима линия возврата в контур!!!

НДА Datex



Снижение стоимости (час анестезии):

Стоимость флакона севофлюрана – 185 евро



За счет повышенного расхода абсорбента стоимость анестезии возрастает с 0.14-0.36 евро/час до 0.56-1.46 евро за час анестезии

Коэффициент эффективности

- Коэффициент Эрнста:
- $C_{\text{Eff}} = \text{Потребление/доставка}$
- Если потребление 300 мл/мин, а доставка (ПСГ) 6000 мл/мин, то $C_{\text{Eff}} = 0,05!!!$
- C_{Eff} должен стремиться к единице!!!

Примерный алгоритм НПА

Метод Gothenburg

- Начальная стадия высокого потока (10-15 мин)
- $O_2 = 1.4$ л/мин (1,5)
- $N_2O = 3.0$ л/мин (3,5)
- ПСГ = 4.4 л/мин (5,0)
- Севофлюран = 2.0-2.5 об%

МИНИМАЛЬНЫЙ ПОТОК

- Стадия уменьшения ПСГ:
- $O_2 = 0.3-0.35$ л/мин
- $N_2O = 0.2-0.25$ л/мин
- ПСГ = 0.5 л/мин
- Севофлюран = 3.0-3.5 об%

НИЗКИЙ ПОТОК

- Стадия уменьшения ПСГ:
- $O_2 = 0.7$ л/мин
- $N_2O = 0.8$ л/мин
- ПСГ = 1.5 л/мин
- Севофлюран = 1.5-2.0 об%

Выход из анестезии:

- Выключить испаритель за 15-30 мин до окончания операции
- Поддерживать ПСГ 0.5 л/мин
- Вымыть анестезиологические газы при помощи O_2 = 5 л/мин за 5-10 мин до экстубации

Увеличение глубины анестезии

▪ Медленное:

- ПСГ не меняется
- Увеличиваются значения испарителя на 1-2 об%
- При достижении необходимой глубины анестезии концентрация анестетика на испарителе устанавливается на 0.5% выше желаемой концентрации

▪ Быстрое:

- Устанавливается желаемая концентрация анестетика на испарителе
- Увеличивается ПСГ до 4 л/мин
- При достижении необходимой концентрации снижение ПСГ до исходного, на испарителе концентрация на 0.5% выше начальной.

Уменьшение глубины анестезии

▪ Медленное:

- ПСГ не меняется
- Уменьшаются значения испарителя на 1-3.5%
- При достижении необходимой глубины анестезии концентрация анестетика на испарителе устанавливается на 1-2 об% ниже начальной величины

▪ Быстрое:

- Устанавливается желаемая концентрация анестетика на испарителе
- Увеличивается ПСГ до 4 л/мин
- При достижении необходимой концентрации снижение ПСГ до исходного, на испарителе концентрация на 1-2 об% ниже начальной.

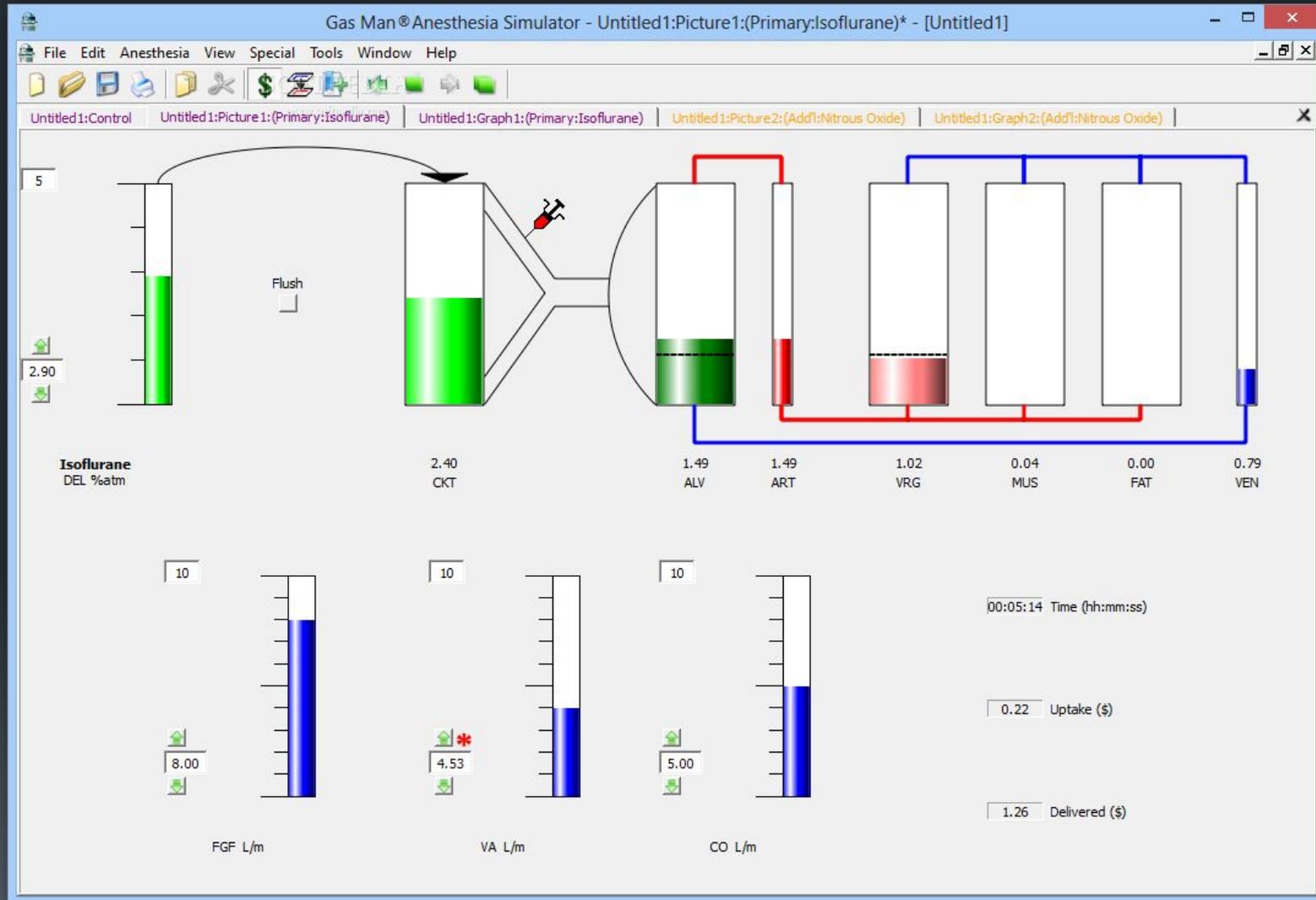
Анестезия по закрытому контуру



Закрытый контур

- Только метаболические потоки кислорода!
- Все, что выше – уже не закрытый контур!
- Используются 2 техники:
 - метаболические потоки кислорода + максимальный % летучего анестетика
 - жидкая анестезия – инъекции жидкого ингаляционного анестетика в дыхательный контур

Gas Man Anesthesia Simulator





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!