

**Дыхательные контуры наркозно –
дыхательной аппаратуры.
Испарители.**

Anaesthetic circuits



Уинстон Черчилль : «Чем глубже вы заглядываете в прошлое, тем больше сможете увидеть в будущем»

Средний возраст жизни людей во времена Древнего Рима

Местонахождение захоронения	Средний возраст жизни (лет)
г. Рим	29,9
Иберия	31,4
Британия	32,5
Германия	35,0
Северная Африка	46

Если учесть, что около 10 млрд. когда-либо живших на Земле людей доживали в среднем до 40 лет, и 5% своей жизни (т.е. ~ 200 трлн. часов) они провели в мучениях, вызванных болезнью или физической болью, то можно сказать, что человечество дорого заплатило в борьбе за продолжительность жизни



«... Когда все прибыли, я на минуту удалился в свою комнату, с благоговением преклонил колени в молитве, а затем вернулся к хирургам и провел их в помещение, где все было готово.

Меня крепко привязали к столу. Когда ввели щипцы, началась сильная боль. Она росла с каждым движением инструмента, нащупывающим камень.

..... я был в твердом и здоровом уме, хотя и в смятении ... и даже был в состоянии понимать, что происходит»

(операция по удалению камня из мочевого пузыря, сделанная Генри Клайном, хирургом больницы св. Фомы 30 декабря 1811 г.)

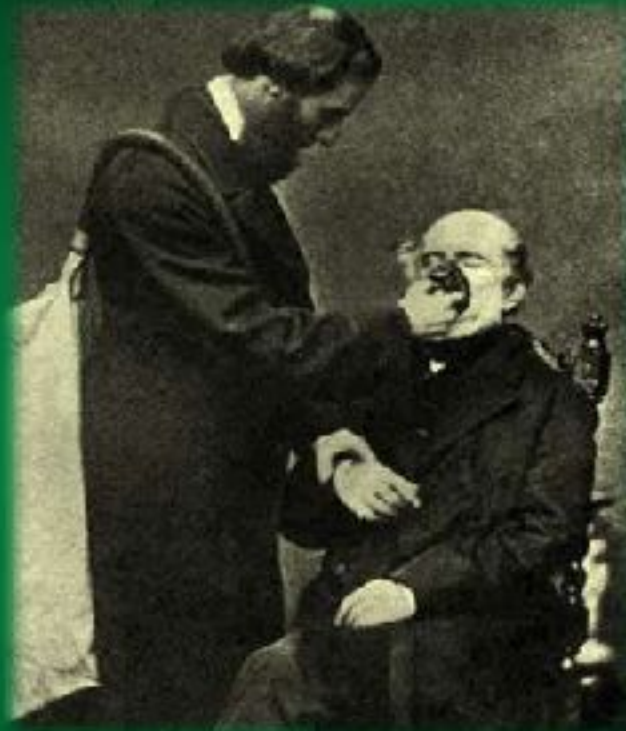


Арнольд де Вилланова (1235-1311):

«... чтобы привести больного в состояние такого глубокого сна, чтобы он был, как мертвый, и не чувствовал, как его режут, возьмите в равных частях опий, кору мандрагоры и корни белены, измельчите их и смешайте все с водой. Когда вам нужно наложить швы и разрезать плоть человека, намочите тряпицу в этой смеси и приложите ее к его лбу и ноздрям. Он вскоре уснет так глубоко, что вы сможете делать, что хотите. Чтобы его разбудить, смочите тряпицу крепким уксусом»



**12 ноября 1846 г. – Регистрация в Бюро патентов
эфирного наркоза**



*На имя **Чарльза Т. Джексона** и **Уильяма Т.Г.Мортон** был выдан патент № 4848*



Хэмфри Дейви (1778-1829) описал результаты вдыхания закиси азота:

«... все были заняты потягиванием газа из пузыря.

По мере действия газа, кто-то начинал прыгать через столы и стулья, некоторые вставали в позу, чтобы произнести речь, другие намеревались начать драку, а один юный господин настойчиво лез к дамам целоваться»







Дыхательные контуры - системы, доставляющие газы от наркозного аппарата к больному

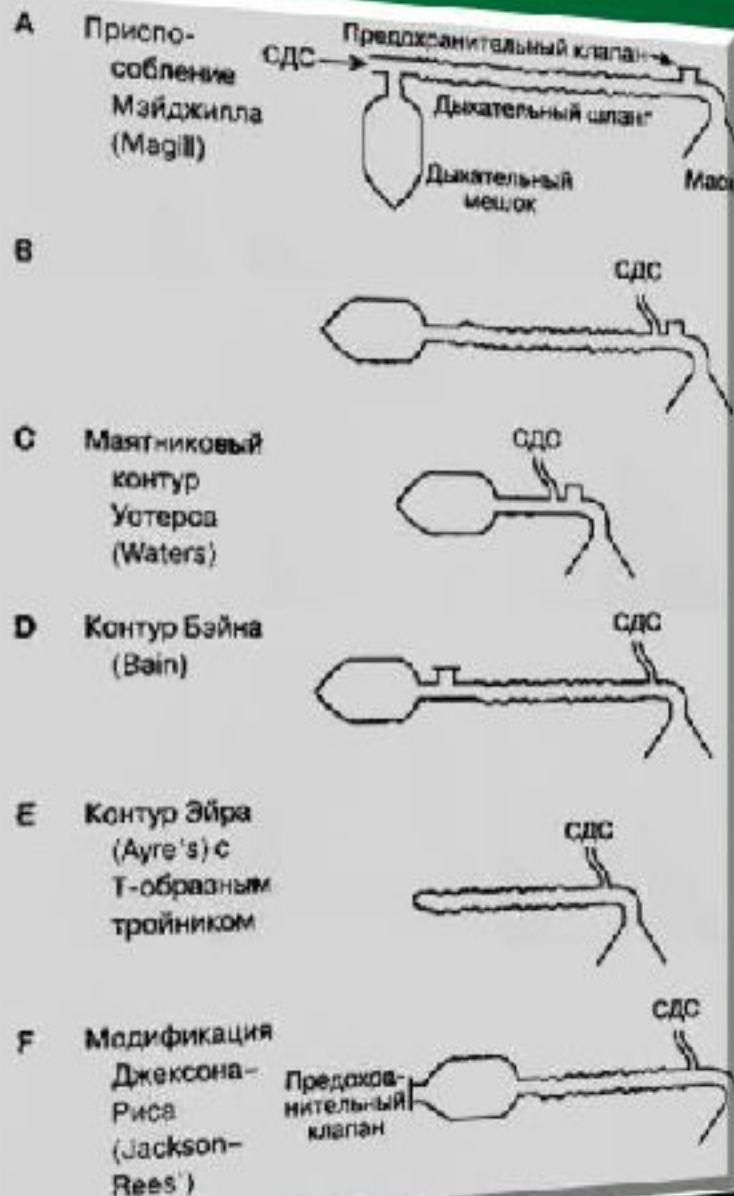


Нереверсивный контур



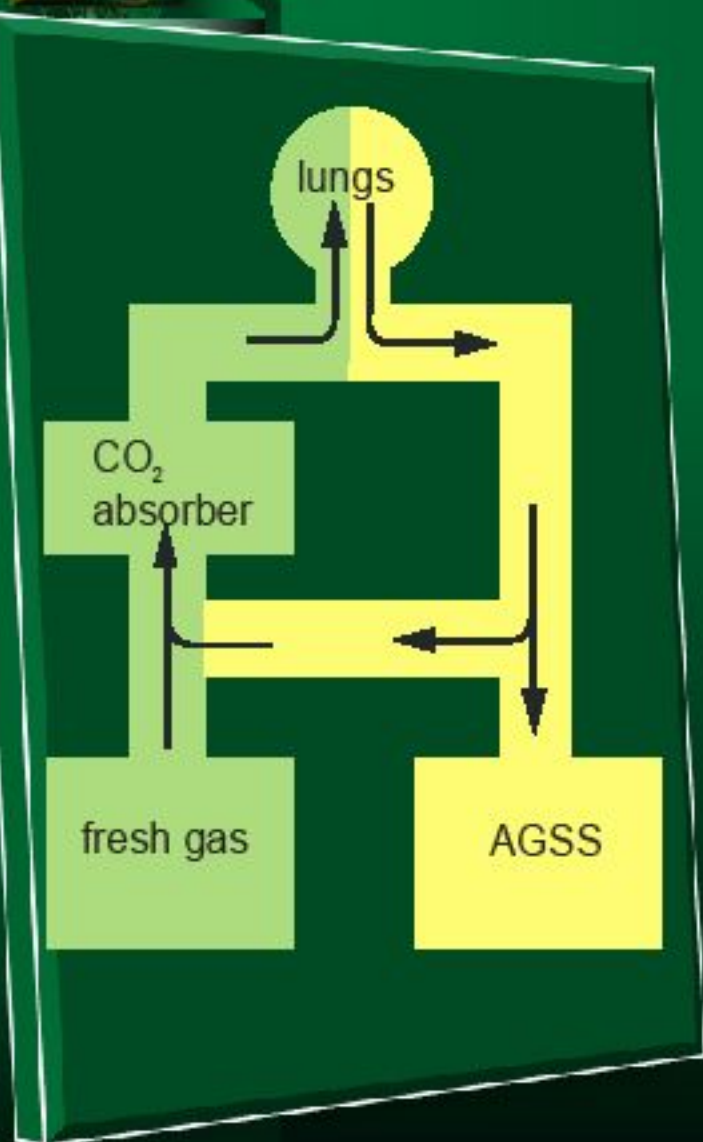
- **Разновидности:**
 - **открытый контур** (вдыхаемый воздух проходит через испаритель и поступает к пациенту; выдох происходит в атмосферу)
 - **полуоткрытый контур**

Полуоткрытые контуры (контур Мэйплсона)



- **Общие конструктивные особенности:**
 - гофрированная трубка
 - клапан сброса (или регулируемый клапан ограничения давления)
- **Отличия:**
 - расположением клапана сброса и входа свежего газа
 - наличием или отсутствием мешка-резервуара
- **Достоинства:**
 - простота конструкции и портативность
 - способность обеспечивать быстрое изменение глубины анестезии
 - отсутствие рециркуляции выдыхаемых газов
- **Недостатки:**
 - ограниченная способность удаления отработанных газов
 - высокий расход свежего газа
 - отсутствие увлажнения, потеря тепла

Реверсивный контур



- **Общие конструктивные особенности:**
 - выдыхаемая газовая смесь, смешиваясь с поступающим в контур свежим газом, вновь попадает на линию вдоха
- **Подача газонаркоотической смеси:**
 - циркуляционный способ подачи смеси
 - маятникообразный способ подачи смеси
- **Достоинства:**
 - управление глубиной анестезии
 - отвод отработанных газов
 - сохранение тепла и влажности дыхательной смеси
- **Недостатки:**
 - большие размеры
 - сложность конструкции
 - высокое сопротивление
 - непредсказуемая концентрация газов во вдыхаемой смеси при низкой скорости потока свежего газа

Полузакрытые контуры



- **Особенности циркуляции газов:**

Вдыхаемая газонаркотическая смесь частично возвращается в газопроводящую систему наркозного аппарата, а частично поступает в атмосферу

- **Общие конструктивные особенности:**
 - магистраль вдоха и выдоха
 - нереверсивные клапаны
 - абсорбер углекислого газа
 - газовый мешок-резервуар
 - клапан сброса в магистрали выдоха
- **Достоинства:**
 - сохранение влаги и тепла
 - возможность использования низких газотоков
 - применения системы удаления отработанных газов
- **Недостатки:**
 - сложность системы, включающая около 10 соединений
 - громоздкость конструкции
 - циркуляция выдыхаемых газов

Закрытые контуры



- **Особенности циркуляции газов:**

Выдыхаемая газонаркотическая смесь полностью возвращается в газопроводящую систему наркозного аппарата

- **Общие конструктивные особенности:**
 - предусматривает вдох и выдох соответственно из аппарата в аппарат;
 - выдыхаемая газо-наркотическая смесь после освобождения от CO_2 в адсорбере вновь поступает к больному
- **Достоинства:**
 - сохранение влаги и тепла
 - возможность использования низких газопотоков
 - экономия анестетика
 - применения системы удаления отработанных газов
- **Недостатки:**
 - сложность системы
 - требуется дополнительный мониторинг
 - циркуляция выдыхаемых газов



Классификация дыхательных контуров в зависимости от величины газотока

- В отличие от систем с высоким газотоком, которые относятся к полуоткрытым контурам, контуры с низким и минимальным газотоком функционируют как полужакрытые
- Если же поток свежего газа ниже “минимального” и равен суммарному поглощению газов (O_2 , N_2O) и паров анестетика (фторотан, изофлюран, севофлюран и т. д.) в данный момент времени, то такой контур принято называть закрытым

Классификация величины газотока в дыхательных контурах



Газоток в контуре	Определение
> 4 л/мин	высокий газоток (high flow anesthesia)
1,0 – 0,5 л/мин	низкий газоток (low flow anesthesia)
менее 0,5 л/мин	минимальный газоток (minimal flow anesthesia)



Преимущества методов анестезии с низким газотоком

- **Улучшение микроклимата в дыхательном контуре** (границы оптимальной температуры (28°C) и влажности ($17 \text{ мг H}_2\text{O/л}$) вдыхаемой газовой смеси могут быть достигнуты уже через 30-60 мин. от момента снижения газотока)
- **Снижение расхода кислорода и средств ингаляционного наркоза**
- **Уменьшении стоимости анестезиологического пособия** (прямые и косвенные финансовые потери, связанные со сбросом в атмосферу излишков газа из дыхательных контуров наркозных аппаратов во время анестезии с высоким газотоком, в 1977 г. в США составили более 80 млн. US\$)
- **Снижение загрязнения воздуха в операционной** (ПДК N_2O на рабочем месте не должна превышать 25 ppm (parts per million - частей на 1 млн. частей воздуха), а ПДК галогенсодержащих анестетиков - 2 ppm. При потоке $\text{N}_2\text{O} = 2,5 \text{ л/мин.}$ ПДК~ 122 ppm, при потоке 0,5 л/мин. - 29 ppm, при потоке 0,2 л/мин - 15 ppm)



Преимущества методов анестезии с низким газотоком

- **Уменьшение вероятности передозировки галогенсодержащих анестетиков**
- **Снижение риска интраоперационного пробуждения пациента по причине внезапного прекращения подачи анестетика**



Требования к оборудованию при проведении low flow anesthesia, ИЛИ minimal flow anesthesia

- Проведение анестезии на основе низких потоков свежего газа возможно при использовании реверсивных дыхательных контуров (циркуляционный контур, маятниковый контур)
- Циркуляционный контур наиболее приемлем для проведения анестезии со сниженным газотоком как у взрослых, так и у детей
- Маятниковый контур менее удобен в эксплуатации и для проведения анестезии с низким газотоком используется редко, поскольку процессы адсорбции CO_2 в таких системах протекают менее эффективно и могут сопровождаться определенными негативными явлениями (перегревание газовой смеси)



Требования к оборудованию при проведении low flow anesthesia, ИЛИ minimal flow anesthesia

- При уменьшении газотока в контуре увеличивается доля рециркулирующей выдыхаемой газовой смеси с высоким содержанием CO_2 (при потоке свежего газа 6 л/мин. к пациенту возвращается 3-5% выдыхаемой газовой смеси, при газотоке 1 л/мин. – 55-60%, а при газотоке 0,5 л/мин. – 75-80%). В связи с этим обязательна комплектация адсорберами для удаления CO_2
- Дыхательный контур респиратора должен быть максимально герметичен (величина допустимой утечки газовой смеси из контура с минимальным газотоком не должна превышать 100 мл/мин. при 30 см вод.ст.)
- Испарители жидких анестетиков должны иметь механизм термобарокомпенсации и обеспечивать корректное дозирование анестетика в широком диапазоне потоков газа (от 0,2 до 15 л/мин.)



Требования к системе мониторинга при проведении «low flow anesthesia»

- динамический контроль за концентрацией O_2 на вдохе
- непрерывный контроль за концентрацией CO_2 на выдохе
- непрерывный контроль за концентрацией ингаляционного анестетика на выдохе
- динамическое наблюдение за дыхательным объемом, минутной вентиляцией легких и давлением в дыхательных путях

В. Ваер и Т. Tammisto:

- **полуоткрытый контур**: концентрация любого галогенсодержащего анестетика на вдохе ($C_i \text{ an}$) \approx его концентрации в свежей газовой смеси (концентрации на испарителе, $C_{vp} \text{ an}$)
- **при «low flow anesthesia»**: концентрация анестетика на вдохе зависит главным образом от его концентрации в выдыхаемой газовой смеси

Если мониторингирование одного из параметров представляет затруднения, от анестезии с использованием низких потоков следует отказаться по соображениям безопасности для пациента



Дефицит газа в дыхательном контуре при проведении «low flow anesthesia»

- В течение первых 15 - 20 мин. от начала ингаляции парообразующего анестетика происходит его интенсивное поглощение тканями организма, поэтому попытки снизить поток свежего газа в этот промежуток времени могут привести к увеличению разницы между C_i an (концентрация анестетика на вдохе) и C_{vp} an (концентрация анестетика в свежей газовой смеси)
- В связи с этим многие авторы рекомендуют снижать газоток в системе не ранее чем через 20 мин. от начала подачи галогенсодержащего анестетика в контур



Накопление в контуре примесей посторонних газов

- **Азот**: организм взрослого человека содержит примерно 2,7 л чистого азота
- При 15-минутной денитрогенизации по полуоткрытому контуру с высоким газотоком из организма элиминируется около 2 л свободного азота
- Оставшиеся 0,7 л находятся в плохо перфузируемых тканях организма и высвобождаются из них крайне медленно

(L. Versichelen и G. Rolly показали, что при 5-минутной денитрогенизации концентрация азота в контуре к концу 1-го часа от момента снижения газотока у взрослых составляет в среднем 16%, а при 15-минутной - не более 4%)



Накопление в контуре примесей посторонних газов

- **Ацетон:** проводя анестезию по закрытому контуру, *S. Morita* и *соавт.* обнаружили, что к концу 4-го часа от момента снижения газотока концентрация ацетона в дыхательном контуре повышается в среднем с 1,3 до 5,9 ppm (частей на 1 млн. частей воздуха), а соответствующие им плазменные концентрации – с 0,8 до 3,8 мг/л, т.е. не превышают предельно допустимых концентраций (соответственно ≤ 1000 ppm и ≤ 5 мг/л по немецким гигиеническим стандартам)

Пример расчета потребления кислорода

- для расчета принимают величину потребления $O_2 = 4$ мл/кг/мин.

Пример: пациент 60 кг ($N_2O:O_2=2:1$)

- потребление O_2 : $4 \times 60 = 240$ мл/мин.;
- после 10-кратного уменьшения газотока до 0,9 л/мин. из дыхательного контура каждую минуту будет экстрагироваться 240 мл O_2 ;
- количество газовой смеси, циркулирующей в контуре, составит $900 - 240 = 660$ мл/мин.
- при соотношении $N_2O:O_2 = 2:1$ это составляет:
440 мл/мин. — для N_2O (2/3 от 660 мл/мин.), и
220 мл/мин. — для O_2 (1/3 от 660 мл/мин.)

В связи с этим при потоке 900 мл/мин., чтобы сохранить соотношение $N_2O:O_2 = 2:1$ постоянным, следует вводить в контур **440 мл/мин. N_2O** и **$220 + 240 = 460$ мл/мин. O_2**



Принципы проведения анестезии с низким газотоком

- если концентрация O_2 на вдохе в процессе проведения анестезии с низким газотоком опускается ниже рекомендуемого безопасного уровня (30% на вдохе), проводят дополнительную коррекцию потоков газов: поток O_2 по ротаметру увеличивают, одновременно уменьшая поток N_2O
- индукция и выход из анестезии должны осуществляться по полуоткрытому контуру с высоким газотоком, поскольку это обеспечивает быструю динамику концентрации анестетика на вдохе и выдохе
- за 5 мин. до запланированного окончания анестезии газоток в контуре повышают, а затем прекращают подачу всех летучих анестетиков и приступают к ингаляции чистого кислорода

Этапы «low flow anesthesia»

- денитрогенизация 100% кислородом в течение 10 - 15 мин.

• Индукция:

- в/в, или ингаляционная индукция (газовый поток > 4 л/мин. в режиме спонтанного дыхания по полуоткрытому контуру)

• Интубация трахеи

• Поддержание анестезии:

- снижение газотока в контуре до отметки 0,5 – 1,0 л/мин. (низкопоточная анестезия), или < 0,5 л/мин. (анестезия с минимальным газотоком) производят пошагово (шаг – 5 мин: 2л/мин., 1 л/мин., 0,5 л/мин.)

- фаза инициации занимает **15 мин.!**

- концентрация кислорода во вдыхаемой смеси (F_iO_2) не должна быть ниже 30%

- в момент снижения газотока необходимо провести коррекцию потоков кислорода (O_2) и закиси азота (N_2O) по ротаметрам с поправкой на величину потребления O_2

Этапы «low flow anesthesia»

- Если концентрация кислорода на вдохе в процессе проведения анестезии с низким газотоком опускается ниже 30% на вдохе, проводят дополнительную коррекцию потоков газов: поток O_2 по ротаметру увеличивают, одновременно уменьшая поток N_2O
- В случае, необходимости изменения уровня общей анестезии, газоток в контуре повышают, а затем увеличивают или уменьшают концентрацию анестетика на испарителе
- **Выход из анестезии:**
 - осуществляться по полуоткрытому контуру с высоким газотоком , а затем прекращают подачу всех летучих анестетиков и приступают к ингаляции чистого кислорода



Противопоказания к проведению «low flow anesthesia»

- **Недостаточный мониторинг и несоответствующая наркозно – дыхательная аппаратура**
- **Отсутствие или истощение адсорбента**
- **Недостаточная герметичность дыхательного контура (аппаратно – масочный наркоз, несоответствие размеров интубационной трубки, превышение лимитов допустимых утечек)**
- **Острый бронхоспазм**
- **Состояния, которые могут сопровождаться накоплением в контуре посторонних газов (отравления газообразными веществами, декомпенсированный сахарный диабет, тяжелая гемолитическая анемия, длительное голодание, алкогольная интоксикация, порфирия)**
- **Состояния с резким повышением основного обмена (сепсис, злокачественная гипертермия)**

Испаритель ингаляционного анестетика



- **Varor® 2000** - калиброванный испаритель ингаляционных анестетиков, работающий без подогрева, предназначен для обогащения дыхательной смеси сухих, медицинских газов наркозного аппарата паром жидкого анестетика при точной дозировке его концентрации
- Испаритель калибруется только для определенного анестетика и предназначен для работы только с этим анестетиком
- Работа испарителя зависит от направления газотока. Для подключения к наркозному аппарату испаритель должен быть оснащен соответствующим адаптером, без которого эксплуатация испарителя с данным наркозным аппаратом не допускается. Одновременная работа нескольких испарителей, последовательно соединенных в линию, в особенности при использовании различных анестетиков, не допускается



Типы испарителей и совместимость с маркой наркозного аппарата



Система Selectatec-7cm

Марка наркозного аппарата


1. Penlon
2. Datex Ohmeda
3. Damesa Siesta
4. Shtefan Artek

Система Plug-in – 5cm

Марка наркозного аппарата

1. Draeger Tiro
2. Draeger Fabius
3. Draeger

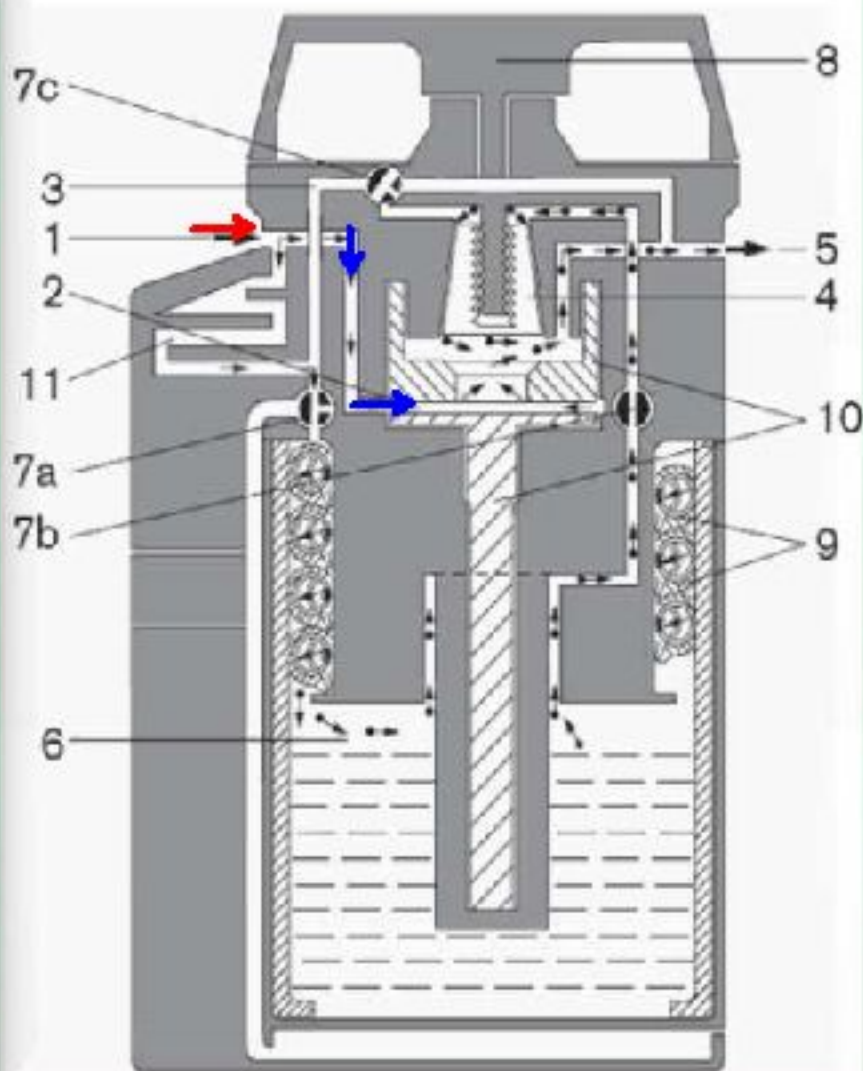




Основные технические характеристики испарителей

- **Испаритель должен обеспечивать точное дозирование анестетика в широком диапазоне потоков свежего газа – от самых минимальных до максимально возможных**
 - Varog 19.n и Varog 2000 фирмы Dräger - в диапазоне потоков 0,25-15 л/мин.,
 - TEC 5 (Ohmeda) и Penlon PPV sigma (Penlon) - в диапазоне 0,2-15 л/мин.,
 - испарители, аппаратов EAS 9010 и EAS 9020 (Gambro-Engström) и PhysioFlex (Physio), вообще не зависят от потока свежего газа, поскольку в данных моделях реализована концепция автоматического инъекционного введения анестетика по принципу обратной связи (electronic feedback control)
- **максимальная пропускная способность испарителя ограничена значением $\sim 3 \times \text{МАК}$**
 - испаритель для галотана - до 4 об.%,
 - для энфлюрана и изофлюрана - до 5 об.%,
 - для севофлюрана - до 8 об.%,

Принцип работы испарителя



- 1** – вход свежей дыхательной смеси
- 2** – байпас камеры испарения
- 3** – дополнительный байпас
- 4** – дозирочный конус
- 5** – выход испарителя
- 6** – камера испарения
- 7a, 7b** – запорные вентили камеры испарения
- 8** – барабанный дозиметр
- 9** – пропитанный анестетиком фитиль
- 10** – система термодинамической компенсации
- 11** – система компенсации давления

Испаритель ингаляционного анестетика

- **Правила эксплуатации:**

- эксплуатация при $T^{\circ} =$ от 10 до 40 C° ,
- при $P_{атм.} =$ от 850 до 1100 гПа,
- при временном перерыве в работе и при наличии анестетика в испарителе - $T^{\circ} =$ от 0 до 40 C° ,
- если из испарителя удален анестетик и фильтр просушен - $T^{\circ} =$ от -20 до 70 C° ,
- скорость газотока - от 0,25 до 15 л/мин.,
от 0,25 до 10 л/мин. - при концентрациях > 5 об %,
- объем заправки анестетиком :
 - ~ 360 мл при сухом фитиле,
 - ~ 300 мл при влажном фитиле,
 - ~ 260 мл – уровень между отметками «мин.» и «макс.»



AnaConDa (Anaesthetic Conserving Device) – инновационная система для подачи и дозирования Изофлюрана в ИТ



Преимущества:

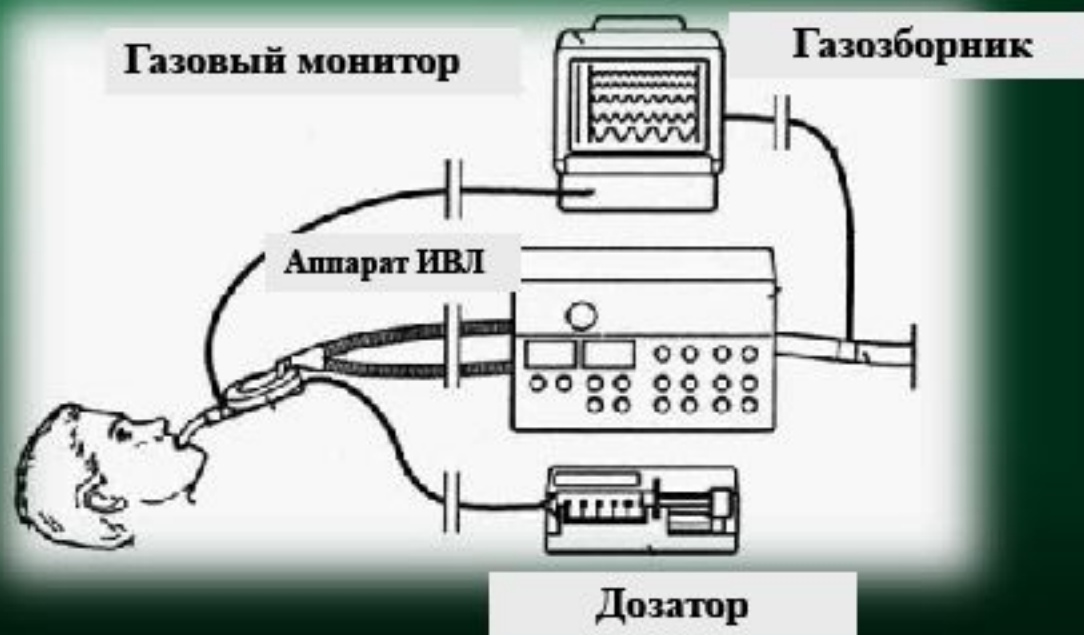
- возможность применения в ОИТ
- компактность
- возможность использования с любыми типами аппаратов ИВЛ
- возможность планирования восстановления сознания и времени экстубации
- возможность использования низких концентраций анестетика (~ 0,3 – 0,8 об% изофлюрана)
- возможность непрерывного контроля дозировки анестетика

AnaConDa (Anaesthetic Conserving Device) – инновационная система для подачи и дозирования Изофлюрана в ИТ



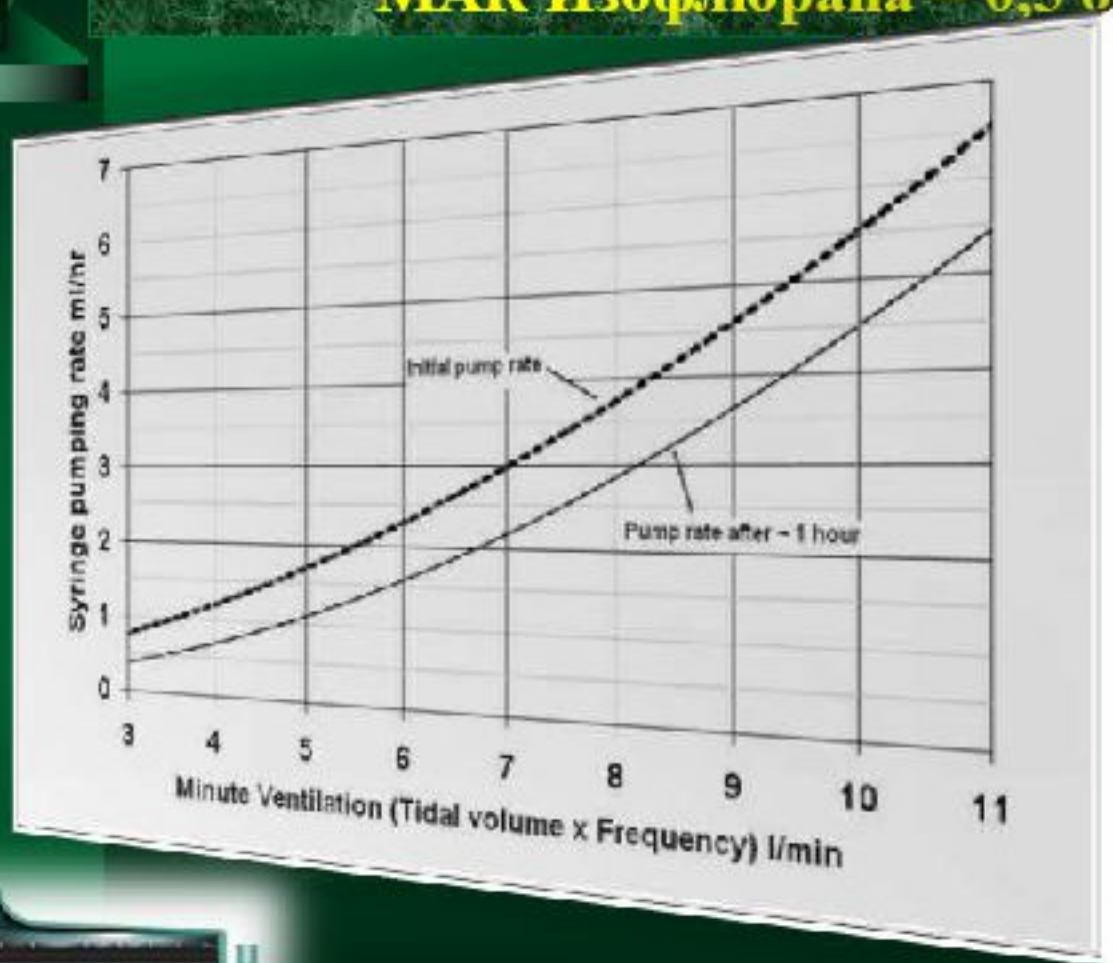
Sackey et al. // Crit.Care.Med.- 2004.- Vol.32.- P. 2241-2246 :
«... AnaConDa позволяет дозировать Изофлюран без использования дорогого оборудования и предоставляет возможность проведения управляемой седации в ОИТ»

Схема подключения системы AnaConDa (Anaesthetic Conserving Device)





Скорость шприца – дозатора для достижения МАК Изофлюрана = 0,5 об%

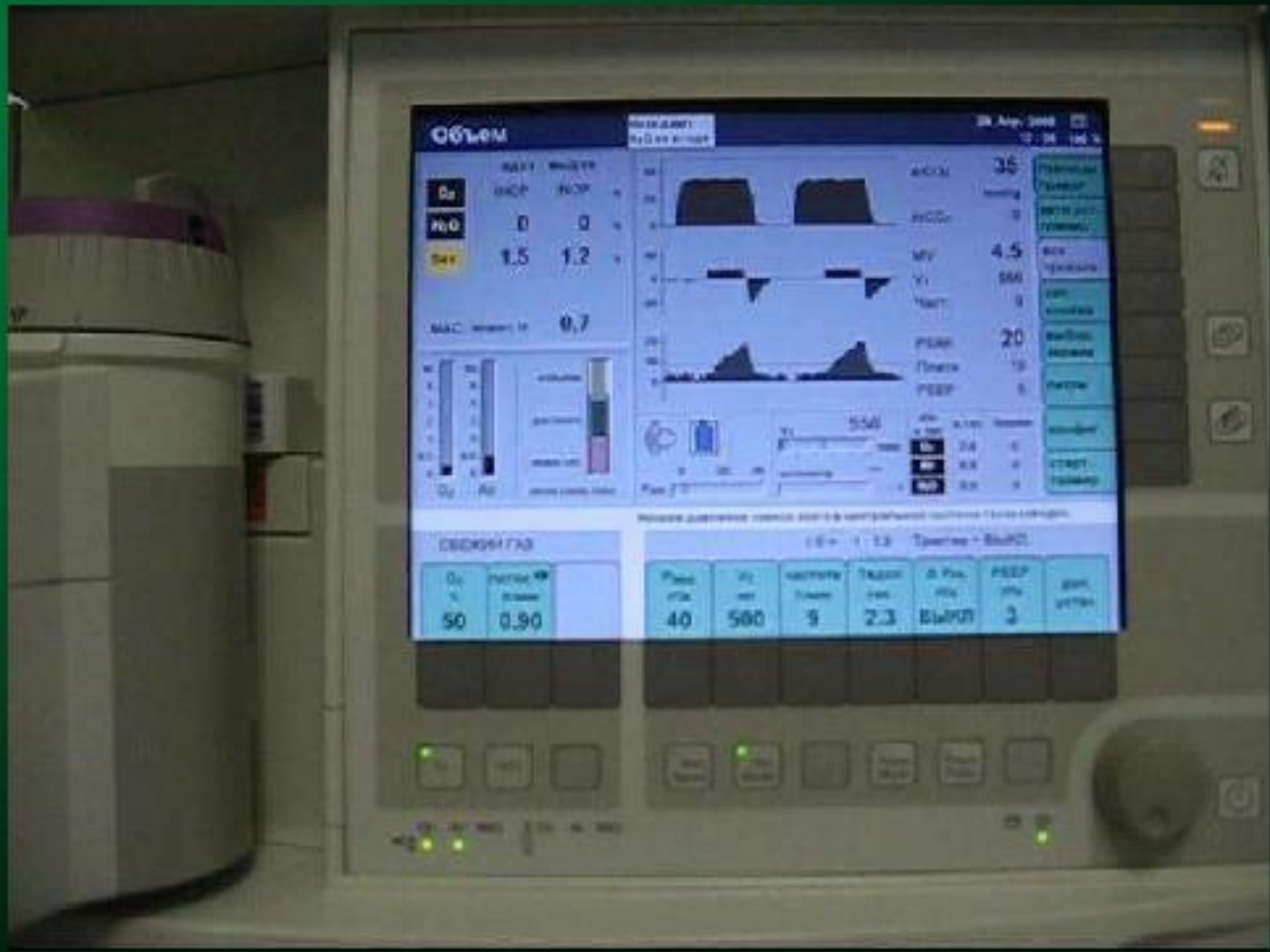












RADIOMETER ABL800 F

484336 14:28
 РАПОРТ ПАЦИЕНТА Шприц - S 195ul Probe

Идентификация

ID пациента 43
 Фамилия пациента
 Имя пациента
 Тип пробы Аспермальная
 T 37.0 °C

pH/Газы крови

pH **7.480**
 pCO2 **34.8** mmHg
 pO2 **301** mmHg

Оксиметрия

stHb **11.9** g/dL
 sO2 **100.5** %
 FO2Hb **88.7** %
 FCO-Hb **1.0** %
 Fct-Hb **-0.5** %
 FMet-Hb **-0.1** %

Электролиты

сK+ **3.4** mmol/L
 сNa+ **138** mmol/L
 сCa2+ **1.07** mmol/L
 сCl- **103** mmol/L

Мегаболиты

? сGlU **8.7** mmol/L
 ? сLac **0.7** mmol/L
 сBil **4** mmol/L

Параметры с температурной поправкой

ан(T) **7.480**
 pCO2(T) **34.8** mmHg
 pO2(T) **301** mmHg

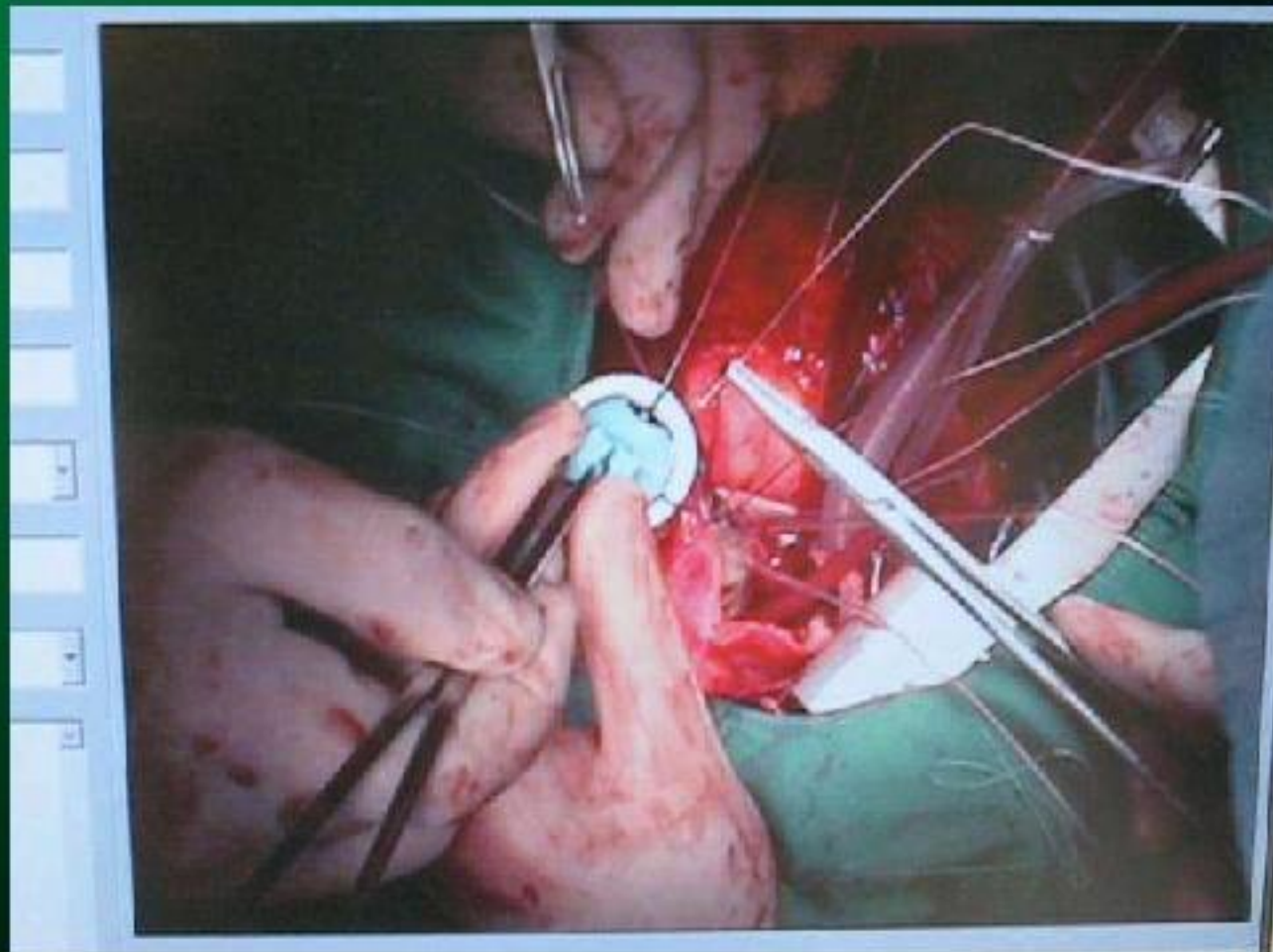
Кислородный статус

сO2 с **17.1** %
 p50 с **24.48** mmHg

Кисотно-щелочной статус

сBase Ec[с **0.8** mmol/L
 сHCO3- (F ст) с **25.8** mmol/L







Кодекс Хаммурапи (2000 г. до н.э.)

«если лекарь нанесет тяжелую рану хирургическим ножом, и больной умрет, ему отрубят руки»

«... если лекарь ... излечит больного, ... он получает 10 шекелей серебром»