

Кардіо-респіраторний моніторинг

Запорожжє, 2015

Легочные константы новорожденных и взрослых

| | новорожденный | взрослый |
|---|---------------|----------|
| Частота дыхания (f) 1/мин | 30 - 40 | 12-16 |
| Дыхательный объем (V _T) мл/кг | 4-6 | 7 |
| Мертвое пространство V _D мл·кг | 2-2,5 | 2,2 |
| ФОЕ (FRC) мл/кг | 27-30 | 30 |
| ЖЕЛ (VC) мл/кг | 35- 40 | 50-60 |
| Растяжимость легких (CL) мл·кг | 5 - 6 | 200 |
| Альвеолярная вентиляция (VA) мл/кг/мин | 100 - 150 | 60 |
| Сопротивление дыхательных путей (R) смH ₂ O/л/сек | 25 - 30 | 1,6 |
| Потребление O ₂ (VO ₂) мл/кг/мин | 6 - 9 | 3-4 |

Особенности органов дыхания у новорожденных

- Дыхательные пути новорожденного короткие и узкие
- Резистентность дыхательных путей высокая
- При аспирации, отеке, воспалении сужение просвета в 2 раза ведет к увеличению резистентности в 16 раз

$$R \approx L / r^4$$

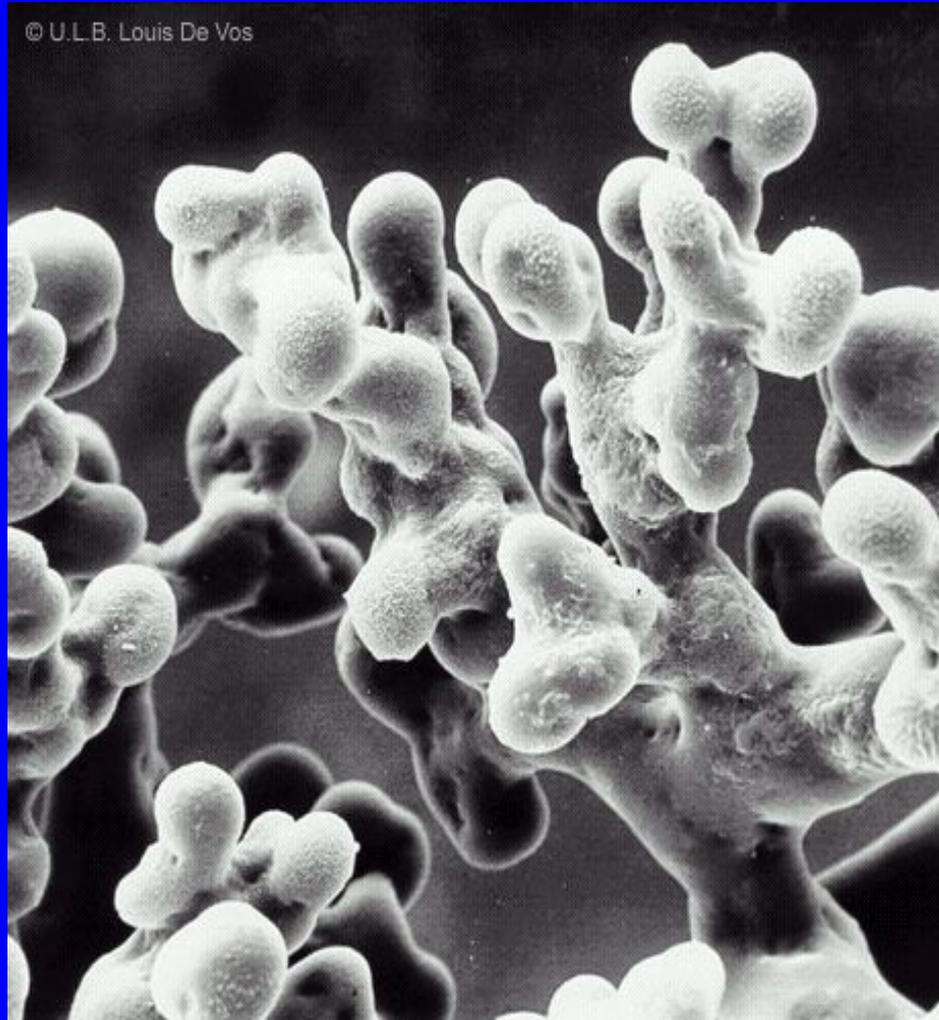
- Легкие новорожденных содержат меньше соединительной ткани, особенно коллагена и эластина
- Снижение эластина и коллагена делает непрочным каркас для бронхов, кровеносных и лимфатических сосудов, следствием чего является
 - Уменьшение диаметра бронхов и бронхиол, вплоть до их **спадения**
 - Уменьшение диаметра кровеносных сосудов
 - с развитием **персистирующей легочной гипертензии новорожденных**
 - Уменьшение диаметра лимфатических сосудов – что способствует **застою лимфы и**

- Легкие новорожденных до 36 недель гестации имеют недостаток сурфактанта – количественный или качественный
- **Сурфактантная недостаточность**
 - первичная – сразу при рождении
 - вторичная - быстрый, за 11-16 часов, распад сурфактанта без его последующего достаточного синтеза
 - при гипотермии, ацидозе, гипероксемии, гипоксемии, ателектотравме, баротравме, волюмтравме, гипогликемии, инфекции, отеке легких и пр.

- Ребра новорожденного не окостеневшие
- Податливость грудной клетки в 5 раз выше, чем у взрослых, и не составляет достаточной опоры для дыхательных мышц
- При дыхательном усилии грудная клетка деформируется
- Новорожденным трудно усилить вдох, легче ускорить дыхание

- Дыхательные мышцы диафрагмы новорожденных содержат 2 вида волокон
 - высокоэнергетичные «марафонские», их 30%, а у недоношенных 10%
 - вспомогательные «спринтерские», их 70-90%
- Диафрагма недоношенных не способна длительное время совершать усилия

© U.L.B. Louis De Vos



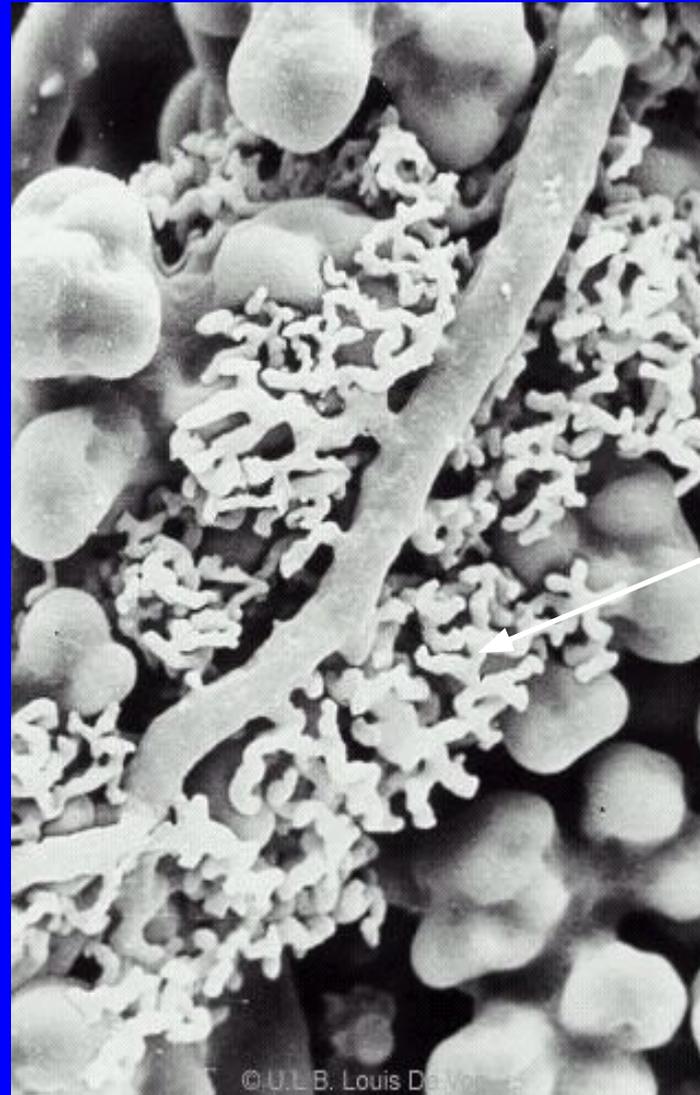
17

неделя

Jordana Fenik, MD
November 2008

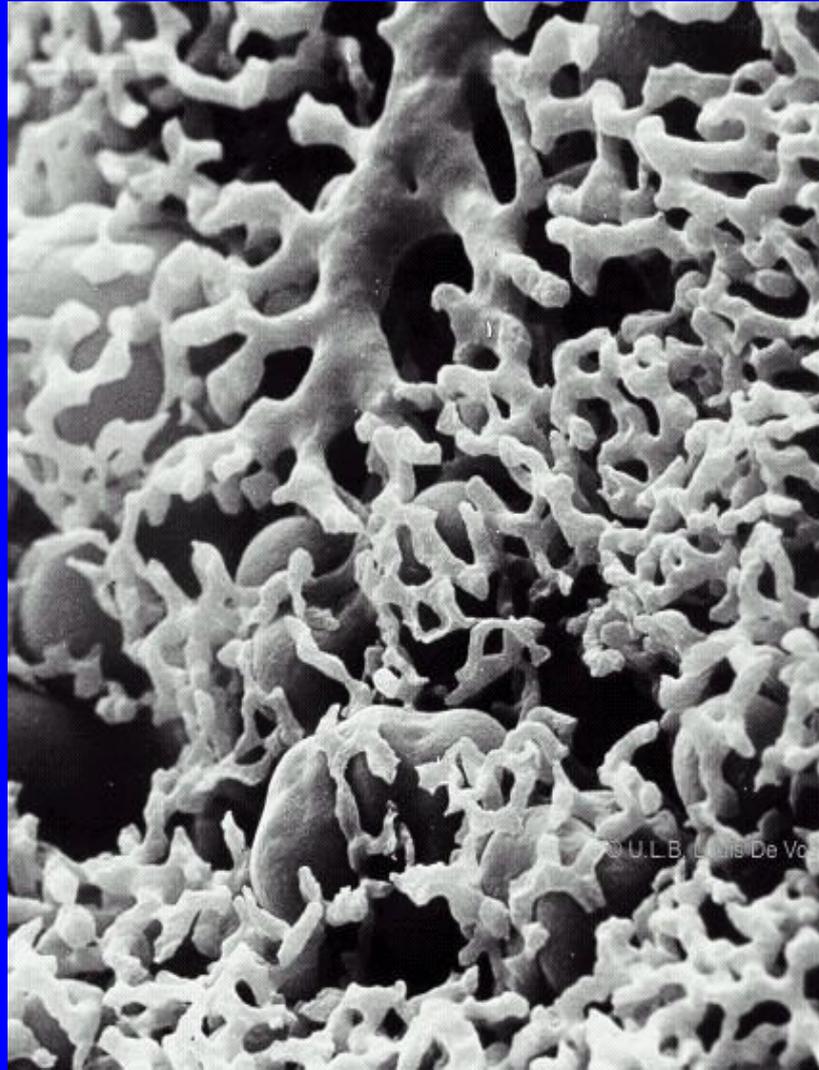
Courtesy of Professor Louis De Vos
<http://www.ulb.ac.be/sciences/biodic/index.html>

22
недели



Альвеолы

25 неделя



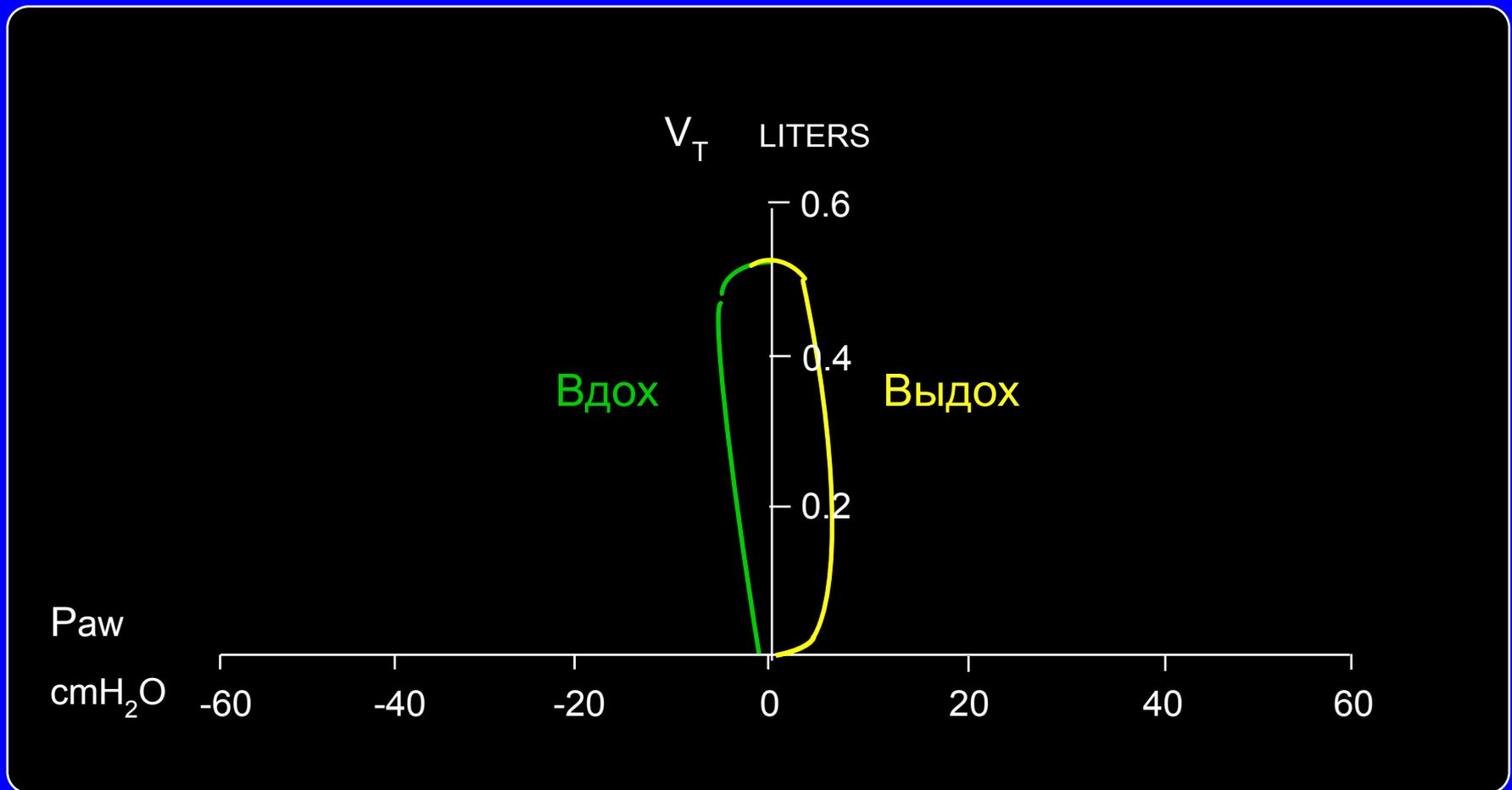
Jordana Fenik, MD
November 2008

Courtesy of Professor Louis De Vos
<http://www.ulb.ac.be/sciences/biodic/index.html>

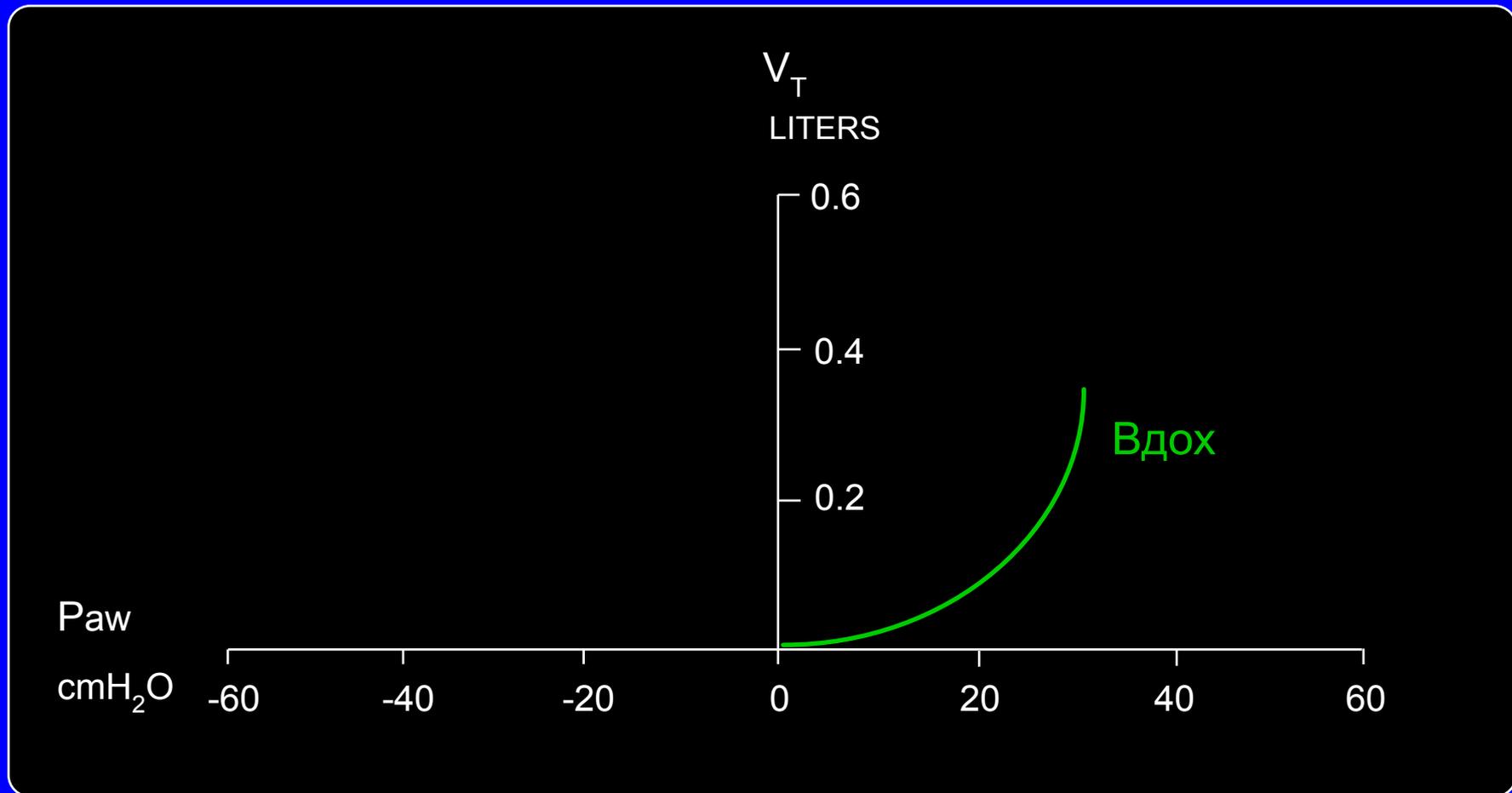
- При выявлении дыхательных расстройств у новорожденного, независимо от его массы, необходимо
 - оценить их тяжесть
 - назначить O_2 -терапию
- При **легких дыхательных расстройствах** – O_2 терапию системой с малым потоком
- При **умеренных или тяжелых дыхательных расстройствах** – применять систему O_2 терапии с большим потоком

У новорожденных с массой меньше 1500 г даже легкие дыхательные расстройства - показание для проведения методики самостоятельного дыхания под положительным давлением [А].

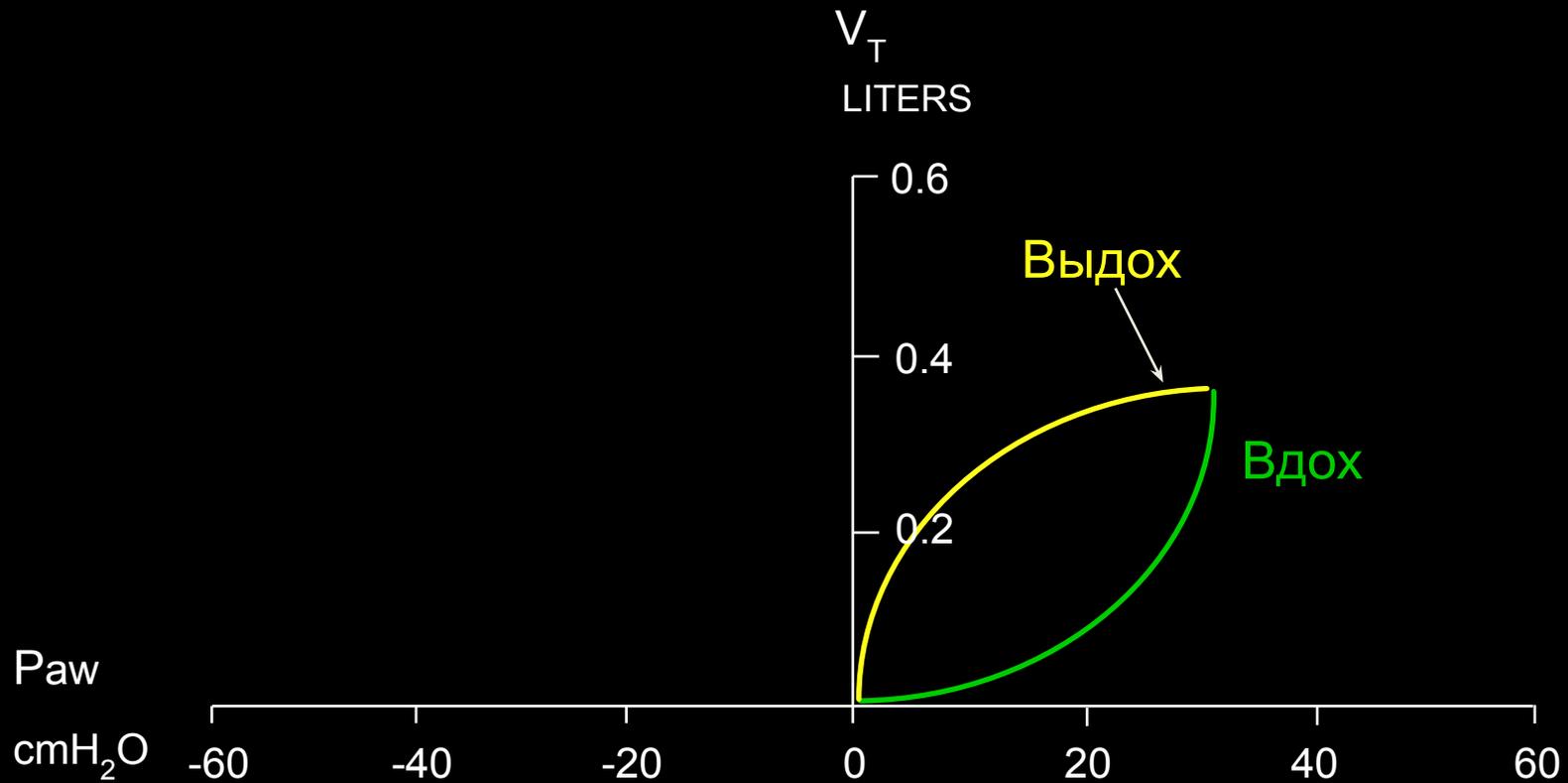
Спонтанное дыхание



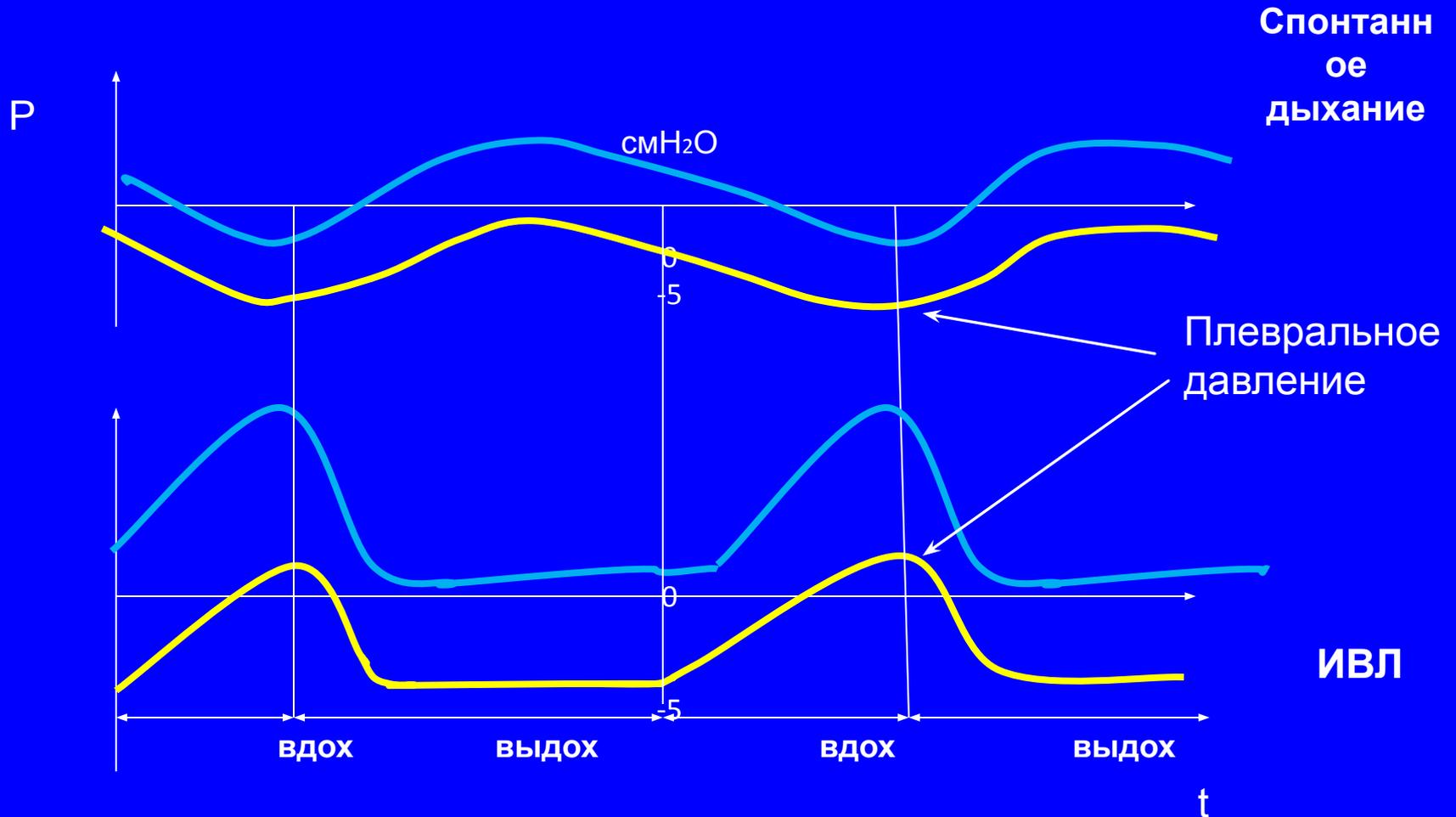
Вдох ИВЛ



Вдох и выдох ИВЛ



Изменение внутригрудного давления при спонтанном дыхании и при ИВЛ



Что плохого в вентиляции

- Искусственная вентиляция легких неотвратимо повреждает незрелые легкие и вызывает вентилятор-ассоциированное повреждение (вентиляционная травма)
 - Баротравма
 - Волюмтравма
 - Ателектотравма
 - Биотравма
- Другие осложнения
 - Гемодинамические нарушения
 - Нозокомиальная инфекция
 - Метаболические нарушения

Что плохого в вентиляции

- Газ входит в легкие под давлением, а не всасывается
- Интубация уменьшает функциональную остаточную емкость (склонность к ателектазированию)
- Повышается резистентность потоку газа и дыханию
- Угроза травмы и инфицирования
- Ребенок теряет контроль над вентиляцией
- Врач не знает
 - как предупредить повреждение легких
 - как уйти от вентиляции
 - когда прекратить вентиляцию
- Проведение любого вида вентиляции с положительным давлением способно инициировать каскад воспаления, который приводит к БЛД (особенно при дефиците сурфактанта)

Назальный CPAP

метод лечения дыхательных расстройств, который создает и поддерживает постоянное положительное давление в дыхательных путях при спонтанном дыхании у неинтубированных новорожденных

спонтанное дыхание под положительным давлением более щадящий метод дыхательной поддержки

Физиологические эффекты CPAP

- Возрастает давление в дыхательных путях
- Увеличивается диаметр дыхательных путей
- Снижается сопротивление
- Повышается растяжимость
- Повышается функциональная остаточная емкость
- Повышается минутная вентиляция
- Стабилизируются ребра
- Уменьшается западение грудины
- Возрастает эффективность работы диафрагмы

Физиологические эффекты CPAP

- Расправляются ателектазированные альвеолы, это улучшает вентиляционно-перфузионное отношение
- Увеличивается площадь газообмена легких
- Уменьшается интерстициальный и альвеолярный отек
- Увеличивается диффузионная способность легких
- Улучшается легочная перфузия,
- Уменьшается гипертензия в малом круге и шунтирование

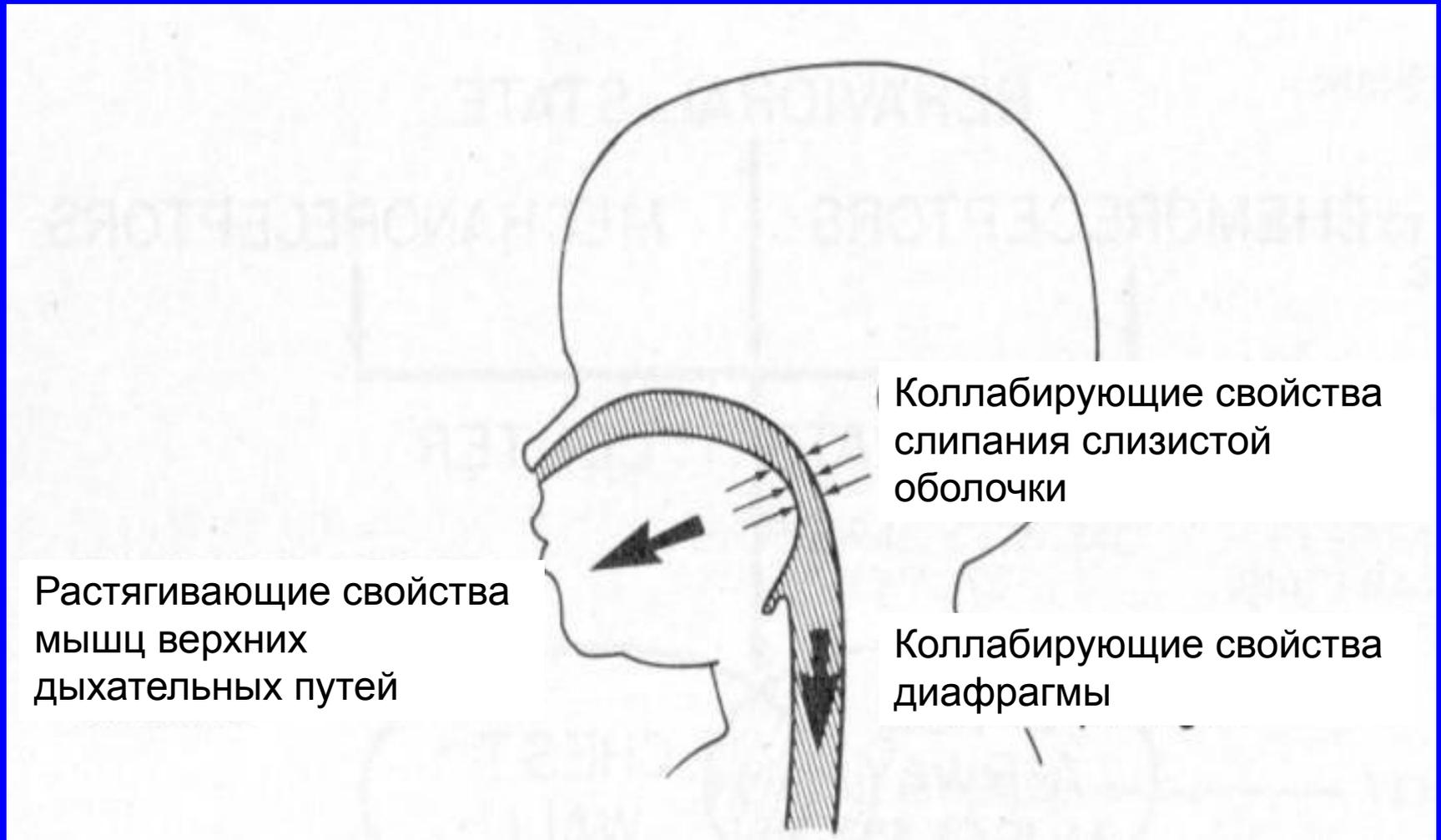
Физиологические эффекты CPAP

- Повышается оксигенация артериальной крови
- Уровень $p\text{CO}_2$ при нормокапнии не меняется, а при гиперкапнии уменьшается, что свидетельствует об улучшении легочной вентиляции
- Стабилизируется система сурфактанта
- Снижается частота обструктивных апноэ
- Уменьшается одышка
- Уменьшается работа дыхания

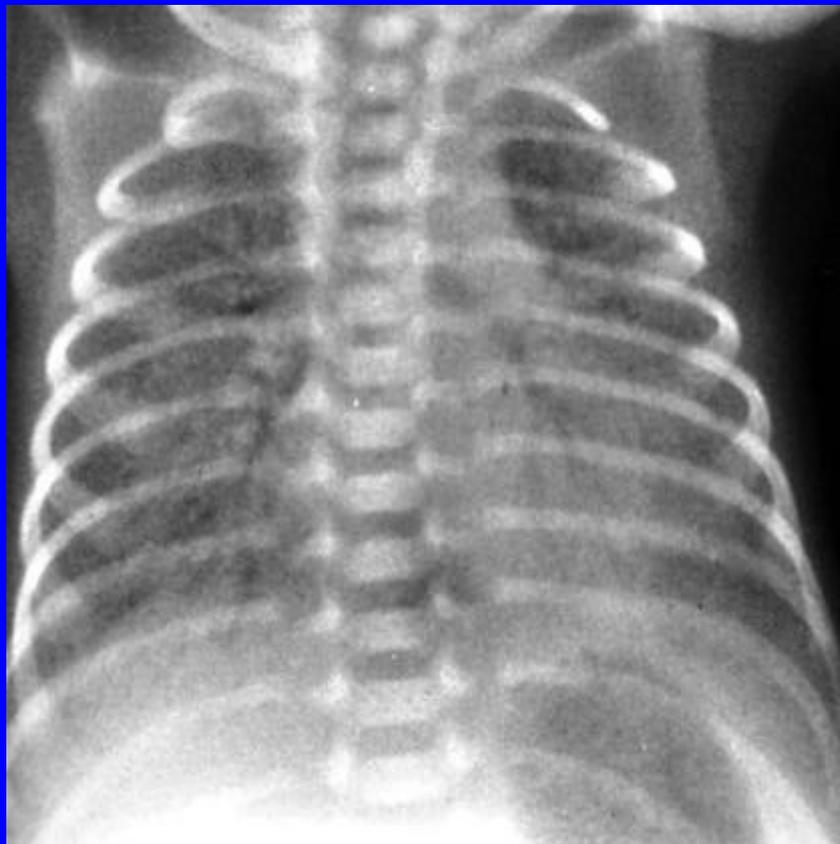
Показания к назальному СРАР

- Дыхательные расстройства любого генеза
 - Тахипное, раздувание крыльев носа, стон на выдохе, втяжения, цианоз, потребность в O_2
- Заболевания со снижением ФОЕ (рестриктивные)
 - РДС, транзиторное тахипное, отек легких, аспирация мекония
- Заболевания с уменьшением диаметра бронхов (обструктивные)
 - БЛД, бронхиолит
- Апноэ и брадикардия недоношенных
- Отлучение от ИВЛ
- Трахеомаляция
- Парез диафрагмы

Апноэ обструктивного генеза



Дефицит сурфактанта (RDS, пневмония)



пCPAP предупреждает ателектазирование сурфактант-дефицитных альвеол, что уменьшает потребность в интубации и ИВЛ

Уменьшается частота БЛД вследствие уменьшения ателектотравмы, баротравмы, волюмтравмы и биотравмы

Устройство пСРАР

1. Механизм для создания положительного давления
2. Контур для постоянного потока вдыхаемого газа
3. Назальный адаптер

Типы назального адаптера

- Назальные канюли

- Две канюли вводят в нос на глубину 1-2 см. (*Kattwinkel, J Pediatr 1975;86:588*).

- Назофарингеальная трубка

- Одна эндотрахеальная трубка вводится через нос на глубину 4-5 см, конец ее заканчивается в носоглотке. (*Boros and Reynolds, Clinical Pediatrics Feb 1976:123*).

- Назальная маска

- Назальная канюля высокого потока

- Поток 1-2 л/мин может создавать CPAP (*Pediatrics 2001;107:1081*).

Носовые канюли должны соответствовать таким требованиям

- Быть сделанными из мягкого материала, не вызывать образования пролежней и легко дезинфицироваться;
- Иметь такое строение, которое позволяет легко и герметично фиксировать их в носовых ходах;
- По своим размерам соответствовать массе тела ребенка;
- Фиксироваться на голове новорожденного с помощью шапочки или специальных устройств

Какие канюли выбрать

- Желательно всегда использовать **короткие биназальные канюли**. Они более эффективны, чем одна назальная трубка или назофарингеальные канюли.
 - канюли драйвера Infant Flow,
 - биназальные канюли Fisher & Paykel с пузырьковым CPAP, и
 - канюли Argyle (Tyco Healthcare) с аппаратом ИВЛ в режиме CPAP.
- **Маски** можно использовать с драйвером Infant Flow (EME, UK), если канюли не подходят к носику или ноздри нуждаются в «отдыхе».
- У детей с аномалиями лица (расщепление неба, губы) можно использовать **короткую эндотрахеальную трубку**, расположенную в носоглотке

Носовые канюли

- + Легче накладывать
(менее травматично)
- + Меньшая
резистентность
спонтанному
дыханию
- Легко высовываются
из носа
- Риск некроза
перегородки носа
- Тяжело придать
положение ребенку



Биназальные канюли

- Medijet
- Arabella
- Fisher&Paykel
- Melissa
- Benveniste



А.В.Мостовой. Семинар «Белые ночи»

Назальная маска



- + Уменьшает до нуля риск некроза перегородки носа
- + Легче накладывать (менее травматично)
- + Меньшая резистентность спонтанному дыханию
- Меньшая герметичность
- Утечка воздуха

Назофарингеальная трубка

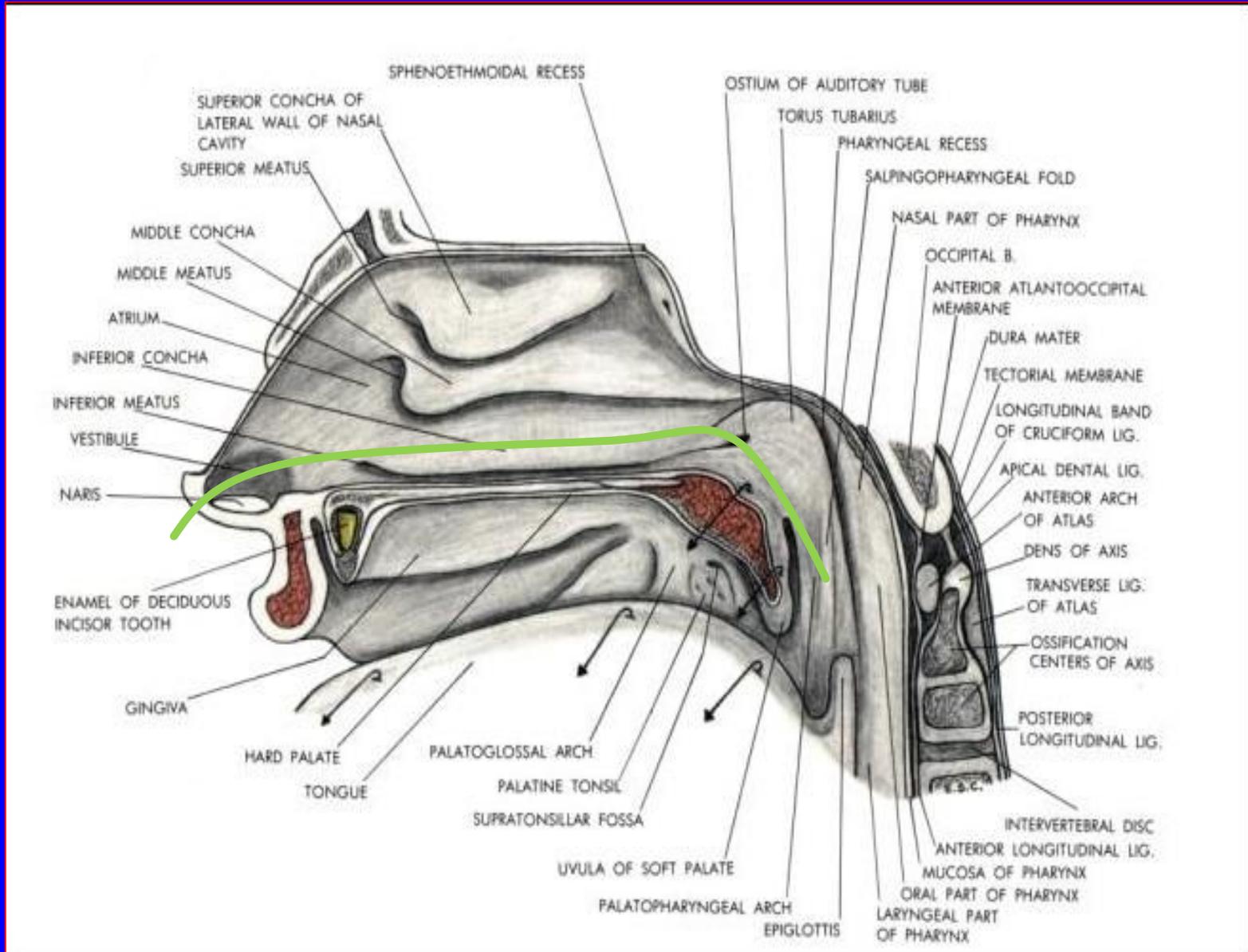


- + Может быть использована у ребенка любой массы
- + Нивелирует риск некроза перегородки носа
- + Легко придать положение ребенку



- Может перегнуться или забиться секретом, несмотря на санацию
- Высокая резистентность спонтанному дыханию

Положение назофарингеальной трубки

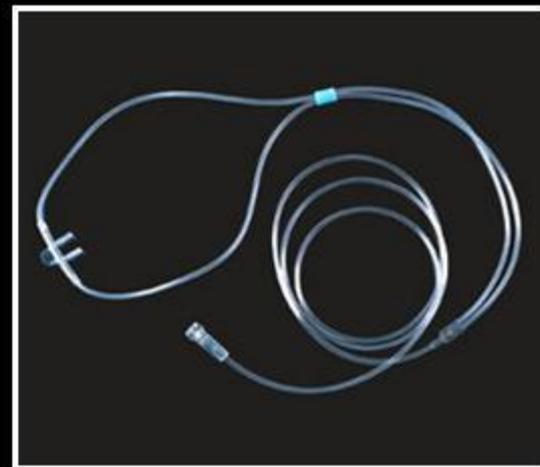


Типы назального адаптера

- Постоянное положительное давление в дыхательных путях новорожденных нельзя создавать с помощью эндотрахеальной трубки, которая находится в трахее, поскольку это значительно увеличивает работу дыхания и ухудшает конечный результат лечения [А]

Назальные канюли «Усы»

- Наиболее часто применяемое в неонатологии устройство для проведения кислородотерапии
- Не создают значимого положительного давления в дыхательных путях
- Могут использоваться при апноэ у недоношенных (Sreenan 2000)
- Увеличивают внутриэзофагеальное давление и снижают асинхронность торакоабдоминальных движений (Locke 1993)
- Оптимально согревается и увлажняется кислородно-воздушная смесь.



Система Infant Flow™

Две основных составляющих

Драйвер



Генератор



Infant Flow SiPAP



Генератор Infant Flow

Двойные инжекторные форсунки. К пациенту

Шланг
вдоха

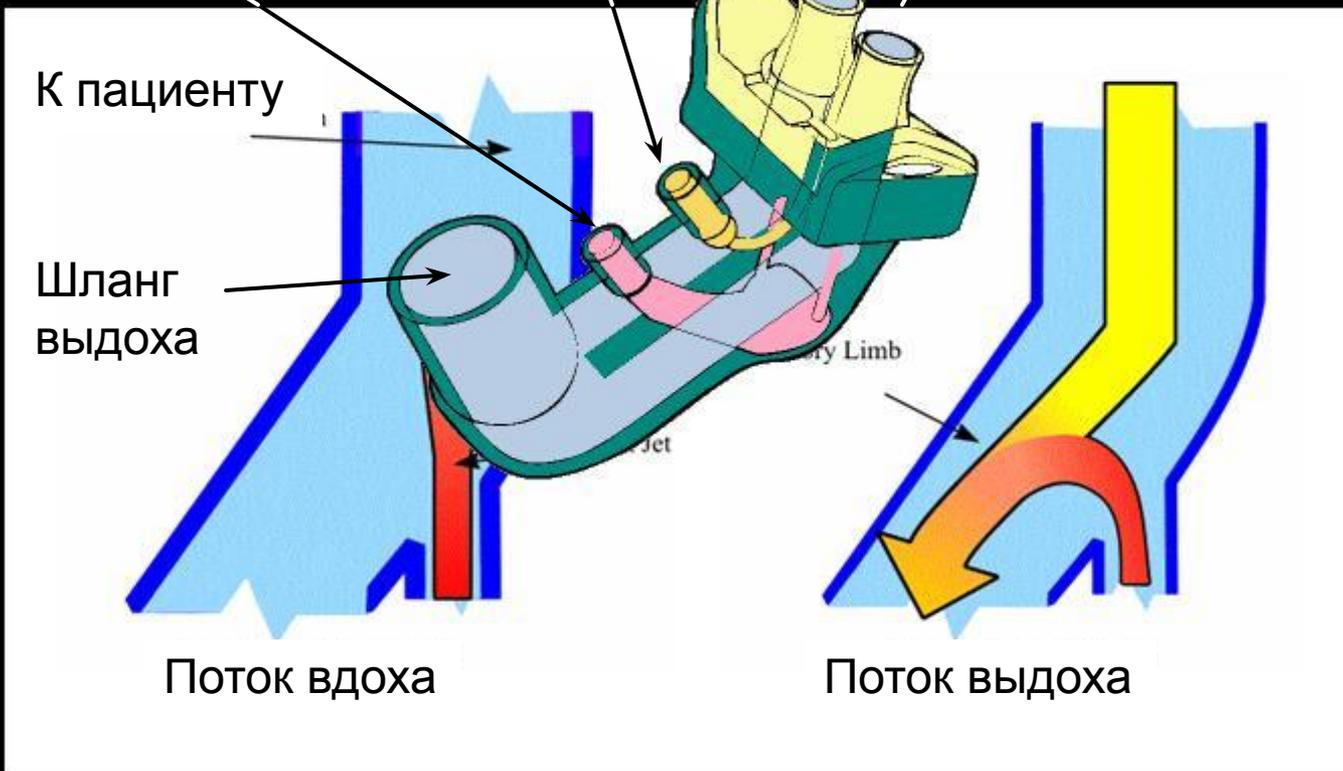
Контролирующий
шланг

К пациенту

Шланг
выдоха

Поток вдоха

Поток выдоха



Драйвер Infant Flow

Поток вдоха

- Поток, создаваемый драйвером nCPAP Infant Flow™, ускоряется в двойных инжекторных форсунках генератора CPAP.
- При спонтанном вдохе пациента генератор поддерживает усилие, превращая кинетическую энергию потока в энергию давления, таким образом, уменьшая работу дыхания пациента.
- Дополнительный выход газа из драйвера позволяет присоединить флоуметр для таких процедур, как ингаляция или реанимация во время транспортировки.

Генератор Infant Flow

- Infant Flow™ генератор имеет уникальное запатентованное приспособление для неинвазивного метода респираторной поддержки, которое работает в согласии с собственными дыхательными усилиями ребенка и использует технологию жидкостного «закручивания» и эффект флотации (Coanda).
- Секрет «закручивания» жидкости заключается в феномене, известном как эффект флотации. Это открытие раньше применялось в области аэродинамики и проектировании реактивных двигателей.

Эффект Coanda

- Когда струя жидкости покидает форсунки на высокой скорости, жидкость из тела, в которую она входит, увлекается вслед, течет с моментом потока.
- Если на пути этого движения есть препятствие, например стенка, течет меньше жидкости, что приведет к падению давления с одной стороны струи. Это снижение давления вызывает отклонение потока, и отклоняет струю, пока она не достигнет стенки.
- Генератор Infant Flow™ проявляет этот эффект, используя дыхательные усилия ребенка, что вызывает эффект флотации и запускает «жидкостное закручивание» внутри устройства

Генератор Infant Flow

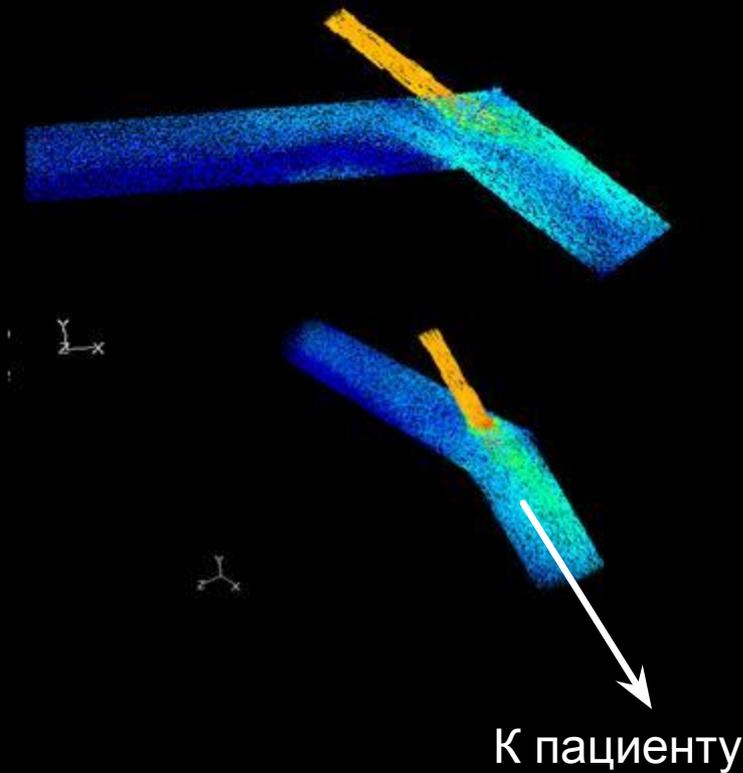
- Время ответа системы почти мгновенное, поэтому системная резистентность в Infant FlowTM значительно ниже, по сравнению с другими традиционными CPAP-системами.
- Это уменьшает работу дыхания по сравнению с другими видами CPAP-терапии.

Драйвер Infant Flow

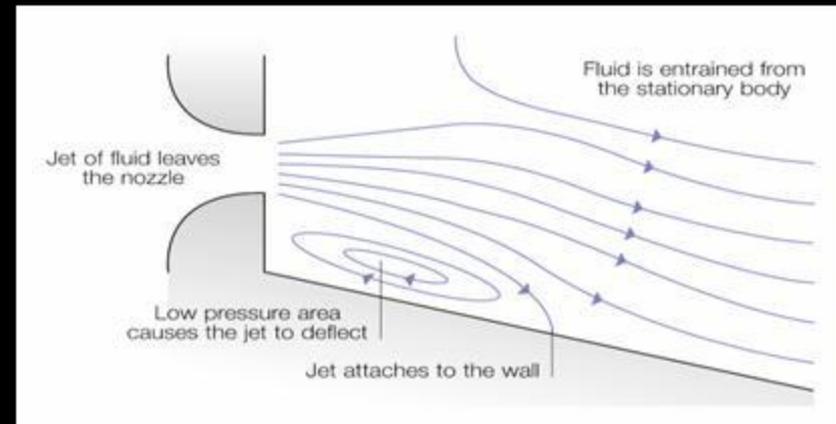
Поток выдоха

- Когда пациент делает спонтанный выдох, форсунки создают давление в носовой части генератора пСРАР.
- Это заставляет поток «кувыркаться» и покидать генератор через экспираторную часть.
- Когда спонтанный выдох прекращается, поток заворачивается обратно, в направлении вдоха.

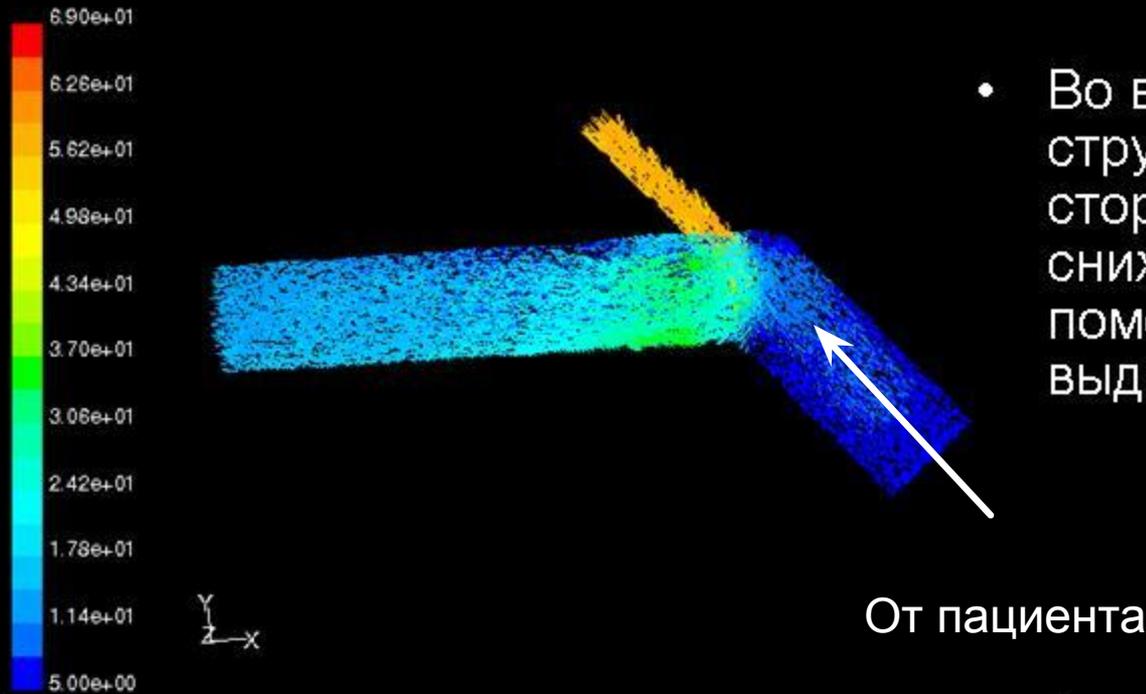
Как система работает



- Демонстрация эффекта Coanda
- Зеленая часть струи показывает направление потока
- Входящая струя направляется вдоль стенки



Как система работает

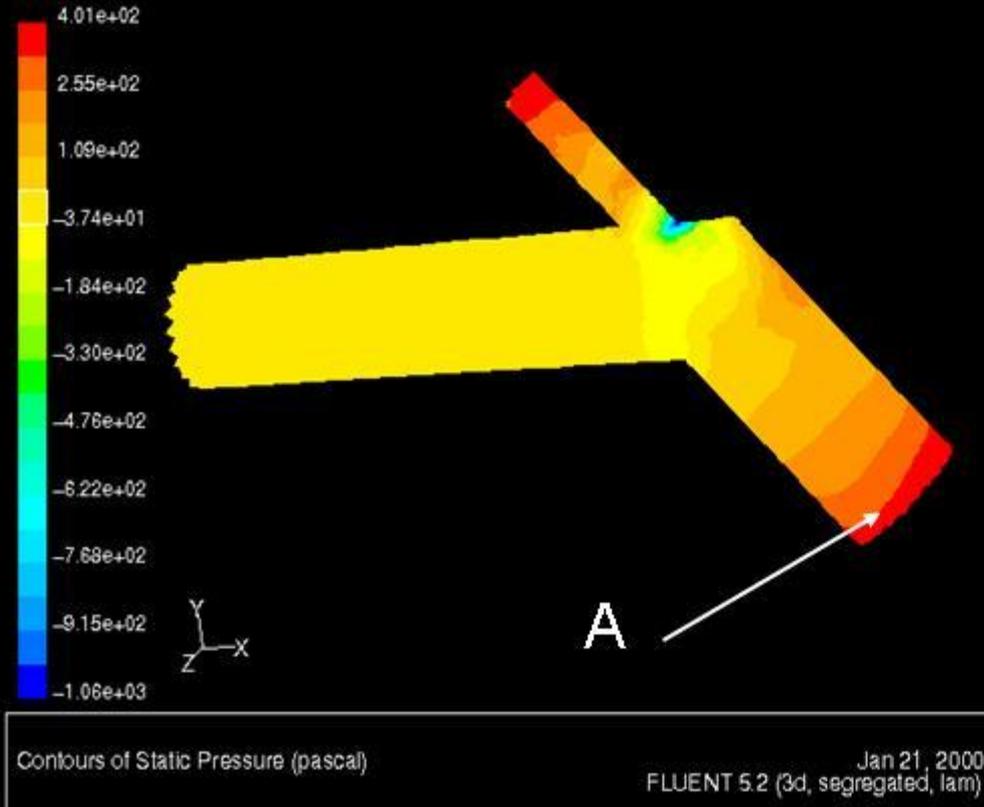


- Во время выдоха пациента струя потока отклоняется в сторону трубки выдоха, снижая резистентность и помогая пациенту сделать выдох

Rel Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

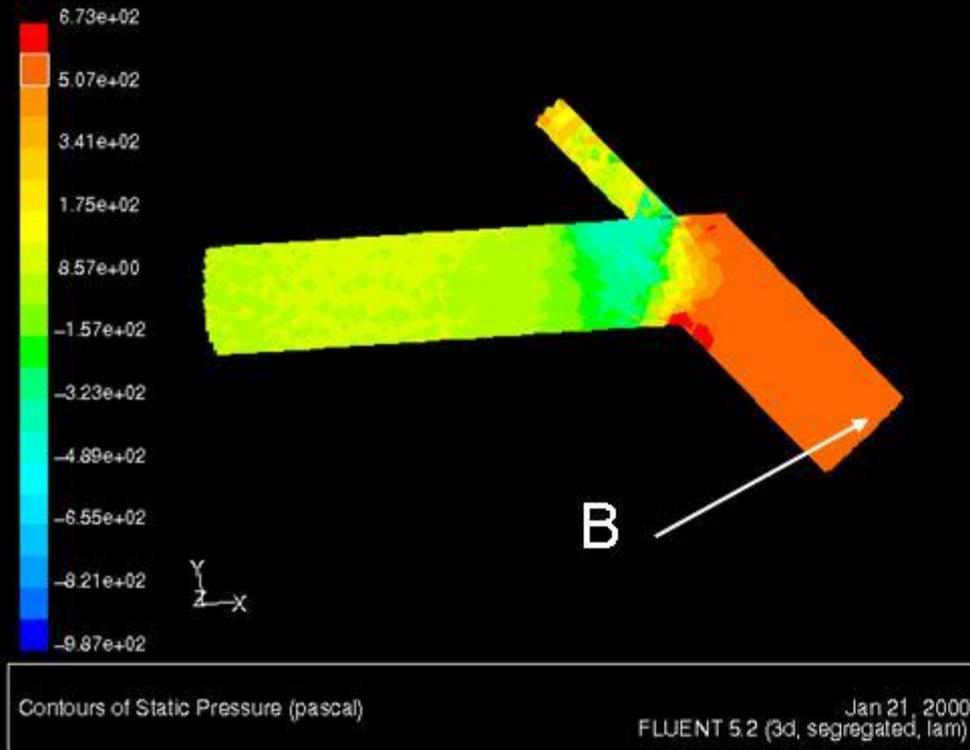
Jan 21, 2000
FLUENT 5.2 (3d, segregated, lam)

Как система работает



Демонстрация давления в контуре
Красная зона на рисунке обозначает 5 смН₂O.
В этом примере заданное давление 5 см вод.ст. поддерживается в контуре во время вдоха

Как система работает

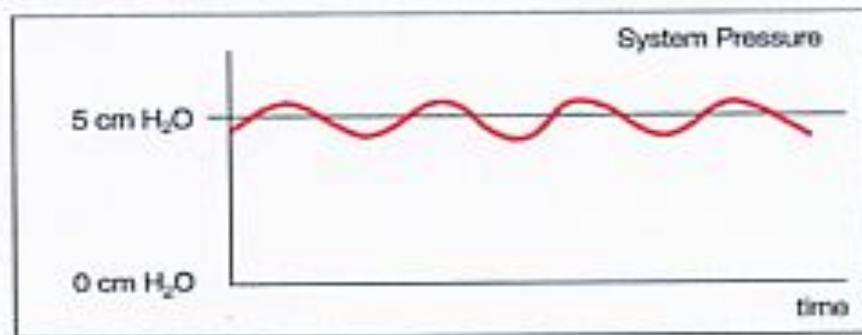


Давление 5 см вод.ст.
также поддерживается во
время выдоха

Назальный CPAP INFANT FLOW и традиционный CPAP

Infant Flow™

8Lts Flow, 5cm H₂O



INFANT FLOW: 8 л/мин, 5 см H₂O

Conventional CPAP

17Lts Flow, 5cm H₂O with 0.5 Lts reservoir bag



CPAP с постоянным потоком:
17 л/мин, 5 см H₂O, мешок 0, 5л

Особенности драйвера Infant Flow

Недостаточность газовой поддержки:

- если разница давления между двумя источниками газа снизится ниже **2 bar** (30 psi) или один газ вообще перестанет поступать, зазвучит алярм, и к пациенту будет подаваться лишь газ с большим давлением.

Электронный клапан выходного давления:

- на уровне 11 см водн ст. соленоидный контролирующий клапан будет мгновенно реагировать и сигнализировать. Через **3 сек** драйвер Infant Flow™ попытается восстановить поток в контуре пациента.

Точный контроль генерируемого давления на всем уровне CPAP и установка потока:

- Генератор Infant Flow™ требует постоянного и точного контроля давления для поддержания уникального жидкостного действия и создания необходимого давления pCPAP. Аппараты ИВЛ и другие самодельные приспособления не должны применяться.

Особенности драйвера Infant Flow

Система безопасности выпускного клапана, активирующегося при пиковом контрольном давлении.

- Эта система предупреждает развитие в контуре и увлажнителе чрезмерного давления. Пациент не подвергается этому давлению.

Автоматически устанавливаемые предохранители:

- дыхательные пути, автоматически контролируемые электроникой, клапан сброса чрезмерного давления с алярмом и возможностью восстановления давления.
- Индикаторы высокого, низкого давления или его отсутствия.
- Индикаторы-алярмы высокого и низкого напряжения кислорода.
- Алярмы снижения давления кислорода или воздуха.

Автоматическая установка алярмов:

- Драйвер Infant Flow™ использует специальный алгоритм для определения клинической или полной потери значений pCPAP.

Параметры методики СРАР

- Скорость потока **6 - 15 л/мин**
- Давление в открытых системах (Infant Flow) зависит от величины потока
- Для полуоткрытых систем достаточно приблизительно **6 л/мин** или выше
- Увеличение «работы дыхания» ребенка (повышение ЧСС, ретракции) может свидетельствовать о необходимости увеличить ПОТОК

Параметры методики СРАР

- Начальная концентрация кислорода до 40%.
- Величина давления СРАР + 4 - 10 см водн. ст.
- Давление +3 см водн. ст. целесообразно применять у детей массой до 1000 г в фазе прекращения дыхательной поддержки

Параметры методики CPAP

- Обструктивные апноэ: 4 - 6 см H₂O
- РДС: 6 - 9 см H₂O
- БЛД: 8 - 10 см H₂O

Тактика изменения параметров

- Если тяжесть дыхательных расстройств нарастает и $SpO_2 < 88\%$ при давлении + 4 - 6 см водн. ст., нужно постепенно (каждые 15 - 30 мин) повышать давление на 1 см водн ст до улучшения оксигенации ($SpO_2 > 88\%$), но не выше 8-10 см водн. ст.
- Если давление ≥ 8 см водн. ст., а улучшения нет, то увеличивать FiO_2 до 60% и определить КОС и газы крови (капиллярной)
- Абсолютное показание к ИВЛ – давление 8-10 см водн. ст. и $FiO_2 > 60\%$ при показателях КОС и газов крови:
 - $SpO_2 < 88\%$ ($PaO_2 < 50$ мм рт.ст.) или
 - $PaCO_2 > 60$ мм рт. ст. и
 - $pH < 7,25$

Тактика изменения параметров

Увеличить давление, если у ребенка:

- Ретракции, экспираторный стон или тахипноэ
- На рентгенограмме - признаки низкого ДО, уплотнения легочной ткани, ателектазов или отека легких
- Удерживается гипоксемия.

Уменьшить давление, если

- основная проблема - гиперкапния (сначала оценить рентгенограмму);
- Стойкая гипоксемия, которая не корригируется повышением давления (это может быть следствием перерастяжения легких при слишком высоком давлении)

Возможные причины неэффективности CPAP

- недостаточное давление
- недостаточная величина потока
- несоответствующего размера канюли или они неправильно используются
- обструкция дыхательных путей
- открытый рот ребенка

Применение СРАР как переходного этапа между ИВЛ и самостоятельным дыханием

- Методика **СРАР через носовые канюли** - эффективный метод профилактики повторной интубации недоношенных новорожденных после отлучения от ИВД [А].
- Методика СРАР **через эндотрахеальную трубку** дольше нескольких минут перед экстубацией трахеи недоношенных новорожденных детей ухудшает клинические результаты лечения и не должна применяться [А].

Применение СРАР как переходного этапа между ИВЛ и самостоятельным дыханием

- После экстубации ребенка и перевода на назальный СРАР используют давление 3-6 см водн. ст. и концентрацию кислорода как при ИВЛ

Отлучение от СРАР

Показания:

- Уменьшение тяжести дыхательных расстройств, стабильная сатурация SpO₂ до 94 %

Тактика

- постепенно (на 5% за 30 мин) уменьшать FiO₂ до 40-30%
- потом постепенно (1 см водн. ст. за 30 мин) уменьшать давление до 4 - 5 см водн. ст., поддерживая SpO₂ 88-94% и PaO₂ 50 - 70 мм рт. ст.
- Давление на уровне 4 - 5 см водн. ст. держать до полного или почти полного исчезновения одышки и ретракций

Отмена CPAP

Показания

- Стабильное состояние (SpO_2 92-93%, нет апное, нормальные жизненные показатели) при условии
 $FiO_2 < 40\%$ и давления ≤ 5 см водн. ст.
- У детей массой менее 1500 г с апное продолжать CPAP с давлением ≤ 5 см водн. ст. до уменьшения FiO_2 до 30 - 21 %

Осложнения СРАР

- Синдром утечки воздуха (пневмоторакс $< 5\%$) - в острой фазе заболевания
- Острое нарушение проходимости носовых канюль, назофарингеальной трубки с развитием апное, гипоксемии, брадикардии (обструкция секретом или неправильное положение носовых канюль/трубки.
- Гиповентиляция, гиперкапния.
- Увеличение работы дыхания

Осложнения СРАР

- Уменьшение сердечного выброса (при давлении $> 6 - 8$ см водн. ст. у ребенка с высокой растяжимостью легких)
- Вздутие живота, аспирация желудочного содержимого
- Эрозии и некрозы носовой перегородки, повреждение кожи лица
- Гипероксемия и ретинопатия (неконтролируемое использование кислорода)

Проблема, которая может
возникнуть у ребенка с
назальным CPAP

Забитая трубка

Положение и кормление ребенка

- Ребенок может находиться в положении на животе, выхаживаться методом кенгуру (кожа к коже), находиться на спине или на боку (нет ограничений в положении)
- Возможно проведение энтерального питания по толерантности.
- В некоторых случаях возможно проведение грудного кормления или кормления из бутылочки

Противопоказания к ПСРАР

- ВПР: диафрагмальная грыжа, атрезия хоан, трахео-пищеводный свищ
- Травма носа, деформация, которые могут ухудшиться при использовании канюль
- Нарушения гемодинамики – относительное противопоказание (дети нуждаются в интубации и проведении ИВЛ)
- Частые апноэ и брадикардия (более 3 за 1 час), которые не отвечают на лечение кофеином и СРАР
- Синдром утечки воздуха

Проблемы, которые могут возникнуть при проведении пСРАР

1. *Возрастает потребность в O₂ или эпизоды десатурации/апноэ - “забитые канюли” или ухудшение заболевания легких. Сменить канюли, провести их санацию, санировать носили повысить давление СРАР*
2. *Раздражение носа: Заменить канюли на маску, изменить положение ребенка*
3. *Выраженное апноэ или нарастание дыхательного ацидоза, тяжелой гипоксемии - *недостаточность назального СРАР* - провести интубацию трахеи и начать вентиляцию. Можно попробовать назальную вентиляцию*

Недостаточность назального CPAP - показание а ИВЛ

1. Выраженные апноэ, брадикардия или приступы десатурации, которые не проходят при увеличении давления
2. Дыхательный ацидоз: $\text{pH} < 7.25$ с повышением PCO_2
3. Потребность в кислороде $> 50 - 70\%$

Неинвазивная вентиляция легких

- – это режим вспомогательной (назальной) вентиляции легких, который предусматривает создание положительного давления в дыхательных путях в течение всего дыхательного цикла с периодическим увеличением давления (искусственный вдох) у неинтубированного ребенка

Неинвазивная вентиляция (IMV и SIMV)

- Типичные параметры назальной SIMV
 - ЧВ 10-25
 - PIP 13-23
 - PEEP 4-6
 - IT 0.5 - 0.6

J Perinatol 1999;19:413, pediatrics 2001;107:638, pediatrics 2001;108:13

Техника применения неинвазивной вентиляции легких

- С помощью назальных канюль, назальных или назофарингеальных трубок или назальных масок
- Неинвазивная ИВЛ может быть в синхронизированном и асинхронном режимах.
- Асинхронный режим – с помощью любого вентилятора.
- Синхронизированный режим - при наличии триггерных устройств (абдоминальная капсула давления, датчик потока)

Параметры неинвазивной вентиляции легких после экстубации

- Давление на выдохе $\approx 5 - 7$ см водн. ст.
- Давление на вдохе **на 2 - 4** см водн. ст. больше, чем перед экстубацией (**12 - 16** см водн. ст.)
- Частота вентиляции **10 - 25** за 1 мин
- Время вдоха **0,4 - 0,5** с

У детей с апное и незначительными изменениями в легких

- Давление на выдохе **4 – 6** см водн. ст.,
- Давление на вдохе **10 - 12** см водн. ст.

Выводы

- Назальный CPAP уменьшает заболеваемость, связанную с эндотрахеальной интубацией и ИВЛ как при дыхательных нарушениях, так и при апноэ недоношенных.
- Снижение заболеваемости при назальном CPAP связано с уменьшением длительности ИВЛ, стеноза, волюмтравмы, баротравмы и ателектотравмы (БЛД), нозокомиальной инфекции (вентилятор-ассоциированная пневмония).