

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА АНЕСТЕЗИОЛОГИИ И РЕАНИМАТОЛОГИИ

**А. Е. Кулагин, В. П. Заневский, И. З. Ялонецкий**

# **ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ У ДЕТЕЙ**

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2011

УДК 616.24-036.882-08-053.2(075.8)

ББК 57.33 я73  
К 90

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве учебно-методического пособия 24.11.10, протокол № 3

Рецензенты: зав. каф. детской анестезиологии и реаниматологии Белорусской медицинской академии последиplomного образования, д-р мед. наук, проф. В. В. Курек; ассист. каф. анестезиологии и реаниматологии Белорусского государственного медицинского университета, канд. мед. наук И. М. Ровдо.

**Кулагин, А. Е.**

К90 Искусственная вентиляция легких у детей : учеб.-метод. пособие / А. Е. Кулагин, В. П. Заневский, И. З. Ялонецкий – Минск : БГМУ, 2011. – 32 с.

ISBN 978-985-528-

Содержит современные представления о показаниях к проведению искусственной вентиляции легких у детей и основных режимах вентиляции. Представлены корректные стартовые режимы вентиляции легких в зависимости от патологии.

Предназначено для студентов педиатрического и лечебного факультетов.

УДК 616.24-036.882-08-053.2(075.8)

ББК 57.33 я73

ISBN 978-985-528-  
ный

© Оформление. Белорусский государствен-  
медицинский университет, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

**Искусственная вентиляция легких (ИВЛ)** — способ обеспечения адекватного газообмена в альвеолярном пространстве, направленный на поддержание достаточной оксигенации крови и элиминацию углекислого газа. Используется как компонент анестезиологического пособия и как средство интенсивной терапии. В настоящее время основным методом ИВЛ является метод вдувания газа в дыхательные пути.

В имеющейся литературе достаточно часто вместо термина «искусственная вентиляция легких» используют понятие «механическая вентиляция легких» (МВЛ). Возможно, введение термина МВЛ связано с широким использованием высоких технологий (микропроцессоров) как в аппаратах ИВЛ, так и в оборудовании для мониторинга пациента. Это позволяет обеспечивать принцип обратной связи аппарат–пациент–аппарат.

В настоящее время используется целый ряд режимов ИВЛ с управлением по объему, потоку, давлению; широко применяют адаптивные (интеллектуальные) режимы; развивается неинвазивная ИВЛ.

### ПОКАЗАНИЯ К ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Каждый тяжелый ребенок требует решения вопроса о необходимости респираторной поддержки. Для этого нужно, оценить степень дыхательной недостаточности (ДН) на основании клинической картины, лабораторных данных и данных динамического наблюдения. В спорных случаях о проведении ИВЛ необходимо соблюдать принцип: раннее начало ИВЛ не принесет вреда ребенку, а позднее может значительно ухудшить его состояние. Тем более при раннем начале ИВЛ обычно удается нормализовать газообмен с помощью вспомогательных режимов. Исходно жесткие параметры вентиляции не должны применяться рутинно.

ИВЛ показана:

- при комплексном анестезиологическом пособии, особенно на фоне искусственной миоплегии;

- во всех случаях резкого нарушения газообмена (недостаточная альвеолярная вентиляция);

- при быстро прогрессирующей ОДН;

- в случаях чрезмерной работы дыхания на фоне нарушенной функции других органов;

- при отсутствии спонтанного дыхания;

- при шоке и острых нарушениях сознания (ступор, кома — профилактика аспирации).

К клиническим ориентирам перевода на ИВЛ относят:

увеличение нормальных возрастных показателей ЧД и/или МОД в 2 раза (у взрослых ЧД  $\geq 30$ –35 дыханий в минуту);

развитие апноэ или брадипноэ;

избыточная работа дыхания и выраженное участие вспомогательной мускулатуры;

прогрессирующий цианоз, мраморность и влажность кожных покровов (наличие цианоза при дыхании воздушно-кислородной смесью, когда  $F_iO_2 \geq 0,6$ );

острые нарушения сознания (угроза нарушения защитных рефлексов верхних дыхательных путей);

дыхательный объем ниже 5 мл/кг массы тела, а ЖЕЛ менее 15 мл/кг;

$PaO_2 \leq 60$  мм рт. ст. при дыхании атмосферным воздухом или  $PaO_2 < 65$  мм рт. ст. при дыхании воздушно-кислородной смесью, когда поток кислорода не менее 5 л/мин;

$SaO_2 \leq 90$ –92% при отсутствии право-левого интракардиального шунта;

$PaCO_2 \geq 55$  мм рт. ст. при отсутствии хронической гиперкапнии (всегда при  $PaCO_2 \geq 60$  мм рт. ст.);

$pH < 7,35$  или 7,3.

В каждом конкретном случае врач должен оценить всю клиническую картину, сопутствующие заболевания, преморбидный фон и предполагаемый прогноз течения патологического процесса. В некоторых клинических ситуациях — повышенное внутричерепное давление, недостаточность кровообращения — для обеспечения надежного газообмена возможен перевод ребенка на вспомогательную ИВЛ.

#### **СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИНТУБАЦИИ ТРАХЕИ И НАЧАЛА ИСККУСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ**

Для проведения ИВЛ выполняется интубация трахеи. При этом необходимо учитывать анатомические особенности детей, особенно новорожденных и детей грудного возраста:

относительно большие размеры головы и короткая шея;

большой язык и выраженные жировые складки щек;

относительно длинный надгортанник омегаобразной формы, наклоненный назад под углом  $45^\circ$  в результате тесного соседства с подъязычным и щитовидным хрящами;

гортань расположена на уровне  $C_{III}$ – $C_{IV}$ ; наиболее узкая ее часть находится на уровне перстневидного хряща;

голосовые связки имеют наполовину хрящевое строение;

относительно короткая трахея.

Постепенно данные параметры приобретают те же значения, что и у взрослых, к 7 годам жизни.

Слизистая оболочка гортани реагирует на различные раздражения появлением эритемы и отека. В связи с небольшим диаметром и воронкообразной формой гортани даже незначительный ее отек может привести к существенному уменьшению площади поперечного сечения дыхательных путей ребенка. Поэтому любые манипуляции на дыхательных путях у детей требуют особой осторожности.

Перед интубацией необходим чистый кислород (достаточно 10–20 глубоких вдохов). Интубацию трахеи у цианотичного ребенка никогда не проводят не раздув несколько раз его легкие с помощью лицевой маски чистым кислородом. Внутренний диаметр интубационной трубки ориентировочно определяют следующим образом:

у детей до 6 лет:

$$\text{внутренний диаметр (мм)} = \text{возраст (годы)} / 3 + 3,75;$$

старше 6 лет:

$$\text{внутренний диаметр (мм)} = \text{возраст (годы)} / 4 + 4,5;$$

у детей старше:

$$\text{внутренний диаметр (мм)} = \text{возраст (годы)} / 4 + 4;$$

у детей старше 2 лет:

$$\text{внутренний диаметр (мм)} = (\text{возраст (годы)} + 16) / 4.$$

Также можно ориентироваться на диаметр мизинца ребенка. У грудных детей размер эндотрахеальной трубки подбирают в зависимости от возраста (табл. 1). При интубации трахеи анестезиолог обязательно должен иметь интубационную трубку рассчитанного диаметра, на размер меньше и на размер больше.

Таблица 1

**Размер интубационной трубки у детей в зависимости от возраста**

Возраст, мес.	Внутренний диаметр, мм	Длина, см
0–3	3,0–3,5	10
3–6	3,5	11
6–12	4,0	12
12–24	4,0–4,5	12–13

Длина интубационной трубки от губ до середины трахеи:

для недоношенных новорожденных — 9–10 см;

новорожденных — 10 см;

для детей 1–5 месяцев жизни — 10–11 см;

детей от 6 до 12 месяцев — 11–12 см;

детей 2–3 лет — 13 см;

детей 4 лет — 14 см;

детей 6 лет — 15 см;

детей 8 лет — 16 см;

детей 10 лет — 17 см;

детей 12 лет — 18 см.

Также для расчета длины трубки можно использовать формулу:

$$\text{длина трубки (см)} = \text{возраст} / 2 + 12.$$

При назотрахеальной интубации длина эндотрахеальной трубки больше на 3 см. Строгий контроль длины интубационной трубки связан с тем, что бифуркация трахеи у новорожденных находится в проекции II–III грудного позвонка, и только к периоду полового созревания достигает уровня IV–V. Карина трахеи шире, главные бронхи отходят под равными углами.

Размер трубки считается выбранным правильно, если при максимальном давлении на вдохе 22–25 см вод. ст. происходит незначительная утечка газа вокруг эндотрахеальной трубки. Развитие стридора после эктубации или травматизации гортани бывает обусловлено излишне плотным прилеганием трубки к стенкам гортани.

#### **Существуют следующие методы интубации трахеи:**

1. Назотрахеальная интубация вслепую. Интубация через нос вслепую трудновыполнима у детей в возрасте до 6 месяцев, ее лучше проводить детям старшего возраста и взрослым. При интубации ребенок должен лежать на спине с запрокинутой головой (на подушке) и дышать самостоятельно. Эндотрахеальную трубку смазывают и вводят в ноздрю после закапывания в нее 0,25%-ного раствора мезатона для сужения сосудов. Трубку продвигают вниз ко дну полости носа, следя за дыхательными шумами. Наблюдая за характером дыхания и передней поверхностью шеи, обычно удается ввести трубку в гортань детям с правильным анатомическим строением верхних отделов дыхательной системы.

2. Назотрахеальная с предварительным интубированием через рот. Это метод выбора для маленьких детей и детей с неустойчивым состоянием сердечно-сосудистой и дыхательной системы. Сначала ребенка интубируют через рот и отмечают размер трубки, которая дает утечку при положительном давлении 20–25 см вод. ст. Затем эту трубку отодвигают в левый край рта, чтобы освободить пространство для введения носовой трубки. Ассистент осуществляет вентиляцию легких 100% кислородом через ротовую трубку. Вторую трубку смазывают для лучшего скольжения и проводят через ноздрю в ротовую полость.

В этот момент носовую трубку захватывают щипцами Magill приблизительно на 1 см от ее верхушки и помещают над ротовой трубкой так, чтобы верхушка находилась между голосовыми связками. Ассистент осторожно удаляет ротовую трубку, а носовую продвигает дальше. Если удалить ротовую трубку раньше, чем верхушка носовой трубки окажется в гортани, то это может затруднить интубацию. Данный метод позволяет создать условия для хорошей оксигенации в течение всей процедуры, дает

запас времени для выполнения кропотливой работы, а также практически постоянно защищены воздушные пути.

3. Интубация с визуальным контролем через нос без предварительной интубации через рот — безопасный метод для детей старше 7 лет без особенностей анатомического строения верхних дыхательных путей. Интубационную трубку после ее смазывания вводят в полость носа и продвигают в гортань под визуальным контролем с помощью щипцов Magill или без них.

4. Оротрахеальная интубация под контролем ларинтоскопии предпочтительна при необходимости срочной интубации трахеи, при проведении ИВЛ в течение короткого времени.

5. Интубация с помощью фиброоптической аппаратуры показана при «тяжелых» дыхательных путях; требует соответствующего навыка работы с данной аппаратурой.

#### **Особенности и осложнения, связанные с проведением интубации через нос:**

выбор метода при длительной ИВЛ; но необходимо помнить, что через 5–7 дней возникает угроза отита, синуситов, некроз крыльев носа;

ограниченное пространство полости носа способствует устойчивому положению трубки, а жевательные движения не влияют на надежность фиксации трубки на лице;

невозможность проведения эндотрахеальной трубки соответствующего диаметра через носовые ходы; часто одна сторона шире другой; трубка, введенная в правую ноздрю, проходит в гортань более прямым путем, чем через левый носовой ход;

кровотечение в результате повреждения носовой раковины или аденоидной ткани (сокращению объемов этих тканей способствует применение 0,25%-ную раствора мезатона в виде капель в нос);

трубку вводят, придерживаясь дна полости носа, а не верхнего края, где она может перфорировать решетчатую пластинку;

возможно подслизистое расслоение;

невозможность ввести трубку в гортань чаще связана с передним положением гортани (необходимо разгибание позвоночника в шейном отделе; легкое надавливание на перстневидный хрящ выполняет ассистент; иногда необходим поворот трубки на 360° для изменения угла ее изгиба.

Другие пути восстановления проходимости дыхательных путей: жесткая или гибкая бронхоскопия; трахеостомия; крикотиреотомия. Трахеостомия показана при необходимости длительной ИВЛ и постоянной санации верхних дыхательных путей. Обычно проводят после 2 недель стояния интубационной трубки, но ее можно произвести и раньше, если предполагается длительная ИВЛ (более 2–4 недель). Трахеостомия может быть отсрочена до 4 недель, если планируется прекращение ИВЛ.

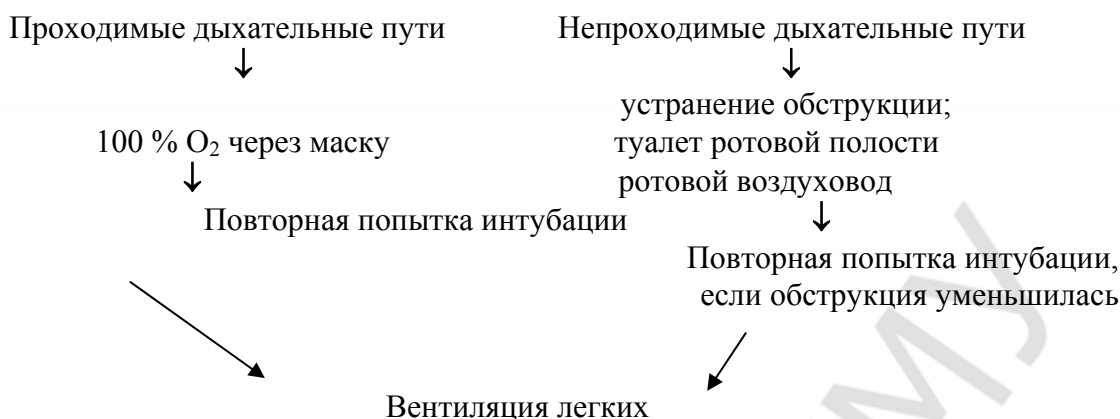


Рис. Схема принятия решений при неудачной интубации

Уход за манжеткой эндотрахеальных и трахеостомических трубок заключается в измерении в них давления каждые 8 часов и поддержании его ниже, чем давление в капиллярах трахеи (< 25 мм рт. ст.). Периодическое удаление воздуха из манжетки для профилактики ишемии трахеи в настоящее время считается нецелесообразным. Чрезмерное раздувание манжетки в отдаленном периоде может провоцировать развитие стриктуры трахеи; кроме того, оно может привести к сдавлению эндотрахеальной трубки.

### Показания к проведению интубации

Интубация показана:

1. При нарушении вентиляции легких;
  - врожденные заболевания легких;
  - расстройства центральной регуляции дыхания: черепно-мозговая травма, остановка сердца, высокое внутричерепное давление;
  - паралич дыхательных мышц: действие химических веществ (миорелаксанты, яды), полиомиелит, синдром Гийена-Барре;
  - повреждение стенки грудной клетки: «флотирующая» грудная клетка (при переломе ребер), пневмоторакс;
  - непроходимость верхних дыхательных путей;
2. нарушении оксигенации:
  - гиповентиляция;
  - нарушение соотношения вентиляция-перфузия;
  - травма;
  - респираторный дистресс-синдром;
  - нарушения диффузии;
  - шунтирование;
  - недостаточное снабжение тканей кислородом при достаточном его содержании в крови — низкая перфузия тканей;
3. нарушении защитных рефлексов гортани:
  - кома любой этиологии;



паралич голосовых связок;  
передозировка лекарственных препаратов;  
трахеопищеводный свищ;  
срыгивание и аспирация желудочного содержимого;  
паралич.

#### **Алгоритм проведения интубации и начала ИВЛ:**

1. Подготовить эндотрахеальные трубки, ларингоскоп, отсос; обеспечить подачу кислорода.

2. Придать правильное положение голове ребенка (маленький валик под шейю стабилизирует положение относительно большой головы новорожденного ребенка), обеспечивающее проходимость дыхательных путей. Ввести воздуховод через рот.

3. Внутривенно ввести атропин (0,01 мг/кг) для предупреждения развития брадикардии в ответ на интубацию; при необходимости старшим детям (новорожденных и грудных детей иногда безопаснее интубировать в бодрствующем состоянии) вводят седативные препараты (барбитураты сверхкороткого действия; диазепам 0,15–0,25 мг/кг, который обеспечивает определенную амнезию, но может вызывать апноэ, особенно у грудных детей) и миорелаксанты (1–1,5 дитилина мг/кг вызывает миорелаксацию в течение 7–10 мин; 0,5–0,6 мг/кг тракриума позволяет интубировать трахею через 90 с и обеспечивает релаксацию на 20–35 мин).

4. При необходимости провести туалет полости рта.

5. Начать вентиляцию дыхательным мешком через маску; проверить подачу в мешок высокого потока кислорода. Постоянно контролировать показатели  $\text{SaO}_2$ .

6. Ввести клинок в правую часть полости рта, оттеснив язык влево. В случае помещения клинка вдоль центральной части языка его правая сторона закрывает поле зрения. Нужно оттянуть основание языка кпереди, чтобы был виден надгортанник, находящийся на уровне небного язычка. Обеспечив визуализацию голосовых связок, выполнить интубацию трахеи. Трубку лучше вводить вдоль правой стороны рта, а не по кривизне ларингоскопа (закрывает обзор).

7. Проследить за прохождением трубки через голосовые связки. Введение эндотрахеальной трубки вслепую повышает возможность эзофагеальной интубации.

8. Если визуализация голосовых связок затруднена из-за передней позиции гортани, следует:

поместить под затылок подушечку так, чтобы достигнуть положения «принюхивания», как при втягивании воздуха носом;  
осторожно надавить на перстневидный хрящ.

9. Если за 30 с интубация не выполнена, надо прекратить попытки и продолжить вентиляцию дыхательным мешком через лицевую маску, затем, «раздышав» ребенка, выполнить повторную интубацию.

10. Если трубка с манжеткой после интубации трахеи нужно (обычно используется у детей с 4-летнего возраста), то — осторожно раздуть манжетку, не создавая большого давления. Проводя вентиляцию дыхательным мешком, надо провести аускультацию легких и желудка, чтобы убедиться в правильном положении трубки; для его подтверждения следует выполнить рентгеноскопию грудной клетки.

11. Зафиксировать трубку и аспирировать мокроту из верхних дыхательных путей стерильным зондом.

12. Установить соответствующие параметры ИВЛ. Проверить сигнал тревоги и увлажнитель, установить границы давления. Не отходя от больного отрегулировать режим и параметры вентиляции. Проверить газовый состав крови через 15–20 мин и на основании результатов провести коррекцию параметров вентиляции.

### **Режимы проведения искусственной вентиляции легких**

На данный момент можно выделить несколько основных видов используемых режимов вентиляции, которые обеспечивают современные аппараты:

режимы с регуляторами объема — доставляют запрограммированный дыхательный объем (ДО) независимо от величины давления на вдохе;

режимы, контролирующие давление — обеспечивают дыхание при положительном давлении заданного уровня.

Объем каждого дыхания определяется механическими характеристиками дыхательной системы больного, изменениями сопротивления дыхательных путей и растяжимости легких. В педиатрической практике желательнее увлажнять вдыхаемый газ с помощью увлажнителя с подогревом.

Аппараты искусственной вентиляции, работающие *в определенном режиме давления*, имеют ряд преимуществ при их использовании для новорожденных и грудных детей с массой тела менее 8–10 кг. Интубация у новорожденных и детей грудного возраста обычно производится эндотрахеальной трубкой без манжетки (угроза травматизации голосовой щели). Вокруг трубки нередко наблюдается утечка газа, что затрудняет подачу точного дыхательного объема при использовании аппаратов, работающих по объему. Аппараты, работающие в определенном режиме время–поток с заданным давлением, отличаются быстрой временной реакцией и могут быть использованы для создания высокой частоты дыхания, что очень часто требуется детям раннего возраста. Отрицательной стороной применения данных аппаратов является то, что быстрые изменения сопротивле-

ния дыхательных путей или растяжимости легких приводят к нестабильности дыхательных объемов, а это чревато возникновением гипер- и гиповентиляции.

Аппараты *с запрограммированным объемом* выдают постоянный дыхательный объем независимо от требуемого давления. Подаваемый ДО должен учитывать внутренний компрессионный объем в системе ИВЛ (шланги, увлажнитель, сифоны для воды и трубки сигнализации). У грудных детей компрессионный объем аппарата может поглотить весь предусмотренный для данного ребенка ДО (в современных вентиляторах этот объем обычно учитывается). С увеличением массы ребенка отношение компрессионного объема к объему поступающему в легкие уменьшается, поэтому оценка величины ДО становится более точной.

Регистрация максимального давления на вдохе (МДВ), создаваемого при стабильном ДО, является важным моментом контроля за изменениями легочной механики. Повышение МДВ говорим о уменьшении растяжимости или возрастании резистентности дыхательных путей (непроходимость эндотрахеальной трубки, бронхоспазм, скопление мокроты, пневмоторакс). Снижение МДВ обычно наблюдается при разрешении основного заболевания легких или из-за утечки газа вокруг эндотрахеальной трубки, в системе аппарата или через плевральные дренажи.

### **Возможные режимы вентиляции легких**

Выбирая параметры ИВЛ нужно помнить, что единой классификации режимов ИВЛ пока еще не существует; это создает определенную путаницу для врачей. Наиболее оптимально все режимы ИВЛ можно разделить на 4 группы:

- принудительная (управляемая);
- принудительно-вспомогательная;
- вспомогательная;
- адаптивные режимы ИВЛ.

Рассмотрим данные режимы по группам.

### **Принудительная (управляемая) вентиляция легких**

При проведении принудительной (управляемой) вентиляции легких аппарат практически полностью замещает функцию внешнего дыхания ребенка независимо от наличия у него попыток самостоятельного дыхания. Здесь выделяют несколько режимов.

**IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation)** — вентиляция под перемежающимся положительным давлением, т. е. вентиляция с положительным давлением на вдохе (с заданным объемом) и пассивном выдохе. IPPV — основной вид вентиляции легких 60–90-х годов прошлого века. Главная особенность режима — принудительная доставка заданного ДО с заданной частотой.

При вдохе аппарат создает в контуре заданный уровень пикового инспираторного потока, который удерживается до трех пор, пока не будет подан установленный дыхательный объем. После подачи заданного ДО принудительный поток прекращается, но клапаны вдоха и выдоха закрыты, и наступает так называемая респираторная пауза. В течение этого времени доставленный ДО распределяется по мелким дыхательным путям (фаза газораспределения). После инспираторной паузы открывается экспираторный клапан и происходит пассивный выдох. Время вдоха равно времени подачи ДО и времени инспираторной паузы. Время выдоха зависит от частоты дыхания и определяется как разница между временем всего дыхательного цикла и временем вдоха.

При добавлении синхронизации с дыханием пациента добавляется «S» (synchronized — синхронизированная: SIPPV). Синхронизация с дыханием пациента возможна, но не обязательна. Синхронизированная вентиляция легких предпочтительна, так как обеспечивает лучшее распределение дыхательной смеси в легких, обеспечивает профилактику атрофии дыхательных мышц и лучшую синхронизацию ребенка с аппаратом ИВЛ.

Помимо IPPV (SIPPV) данный режим может иметь следующие названия:

CMV (controlled mechanical ventilation) — управляемая механическая вентиляция;

A/C (assist/control) — ассистирующая/контролируемая вентиляция;

VCV (volume control ventilation) — вентиляция с контролем по объему;

PLV (pressure limited ventilation) — вентиляция с ограничением пикового давления. Имеется на аппаратах с регулятором предохранительного клапана ограничения давления (P<sub>limit</sub>). При достижении заданного пикового давления клапан открывается и оставшийся поток сбрасывается в атмосферу.

Основные показания к режиму IPPV:

ИВЛ во время анестезиологического пособия;

кратковременная вентиляция в послеоперационном периоде;

вентиляция при вентиляционной ДН.

Подводя итог по данному режиму ИВЛ следует отметить:

на аппарате задается ДО и время вдоха;

инспираторный поток поддерживается до окончания подачи заданного ДО;

максимальное давление в дыхательных путях и давление плато зависят от ДО, скорости пикового потока, податливости легких и сопротивления дыхательных путей;

режим гарантирует заданную минутную вентиляцию легких и адекватную элиминацию  $\text{CO}_2$ ;

может иметь место неконтролируемый рост пикового давления в дыхательных путях и угроза развития баротравмы;

заданный ДО в основном поступает в хорошо податливые зоны легких, т. е. происходит неравномерная вентиляция участков легких с различной податливостью;

при использовании данного режима не компенсируется утечка газовой смеси из дыхательного контура и/или эндотрахеальной трубки.

**PCV (Pressure Control Ventilation)** — вентиляция с управляемым (контролируемым) давлением. Один из наиболее применяемых режимов ИВЛ в педиатрической практике. При данном режиме вентиляции задается и поддерживается инспираторное (пиковое) давление в дыхательных путях в течение всего заданного времени вдоха. При этом в зависимости от аппарата ИВЛ уровень контролируемого давления ( $P_{\text{insp}}$  или  $P_{\text{peak}}$ ) может устанавливаться не зависимо от РЕЕР или же «свыше РЕЕР» (в последней ситуации  $P_{\text{peak}}$  равно сумме контролируемого давления и ПДКВ). Реальный показатель  $P_{\text{ins}}$  (или  $P_{\text{peak}}$ ) оценивается по данным дыхательного мониторинга аппарата.

Принцип работы заключается в том, что с началом вдоха создается мощный поток для быстрого достижения заданного давления в контуре. При его достижении поток автоматически снижается, клапан вдоха закрывается. За счет созданного градиента давления между контуром и бронхами с одной стороны и бронхиолами и альвеолами с другой создается поток газовой смеси, уровень которого максимален в начале вдоха и постепенно снижается к концу по мере падения градиента давления. В течение заданного времени вдоха аппарат поддерживает установленный уровень давления вследствие координированной работы клапанов вдоха и выдоха. При этом, в течение всего времени вдоха давление в дыхательных путях не растет, так как при достижении заданного  $P_{\text{peak}}$  принудительный поток прекращается. После окончания времени вдоха открывается экспираторный клапан и происходит пассивный выдох.

Реальный ДО при данном режиме вентиляции не стабилен и в основном зависит от податливости легких и уровня установленного давления. Оксигенация крови определяется временем вдоха, ПДКВ и  $\text{FiO}_2$ .

Режим PCV показан при остром повреждении легких, особенно когда  $\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 < 200$ ; при паренхиматозной ДН, на фоне сниженной податливости легких. Данный режим обеспечивает компенсацию умеренных утечек газовой смеси из дыхательного контура. При низкой разнице максимального давления вдоха и ПДКВ возникает угроза накопления в организме  $\text{CO}_2$ .

**ВІРАР (Biphasic Positive Airway Pressure)** — двухфазное положительное давление в дыхательных путях (разновидность вентиляции с управляемым давлением). Данный режим может называться PCV+ или DuoРАР, SPAP. При данном режиме задаются 2 уровня положительного давления; обеспечивается возможность дополнительных самостоятельных вдохов в любую фазу положительного давления. ДО определяется податливостью легких и градиентом заданных давлений. Такой режим снижает потребность в седации, так как сохраняет двигательную активность пациента, и не дает полной компенсации утечки из контура или дыхательных путей.

#### **Принудительно–вспомогательная вентиляция легких**

**SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)** — синхронизированная перемежающаяся (периодическая) принудительная вентиляция (контролируется по показателям  $V_T$ ,  $f_{IMV}$  и  $Ti:Te$ , а в современных аппаратах и по поддерживаемому давлению — Psupport).

Интермиттирующая принудительная вентиляция проводится больным, имеющим самостоятельное дыхание, которое не обеспечивает адекватный газообмен. Через заданные интервалы времени респиратор включает дополнительную принудительную подачу газовой смеси до заданного объема. Частота принудительной вентиляции *постоянна* и определяется заданными параметрами (не зависит от количества попыток самостоятельного вдоха больного). Если частота спонтанного дыхания ребенка больше заданной, то в промежутках между синхронизированными принудительными вдохами пациент делает самостоятельные вдохи. Для этого в дыхательный контур аппарата подается базовый поток, что облегчает начало спонтанного вдоха. Вообще перемежающаяся вентиляция может быть синхронизированной или несинхронизированной. Наиболее оптимальный первый вариант, так как в этом случае аппарат выдает заданный объем в тот момент, когда больной начинает самостоятельный вдох.

Преимущества данного режима:

- снижение риска респираторного алколоза;
  - гарантирован заданный объем минутной вентиляции легких;
  - уменьшение неблагоприятных воздействий ИВЛ на сердечно-сосудистую систему вследствие меньшего внутригрудного давления;
  - сохранение спонтанных вдохов предупреждает дистрофию дыхательных мышц, при этом самостоятельные вдохи совершаются с меньшей работой дыхания;
  - уменьшение потребности в седативных препаратах и миорелаксантах;
  - обеспечивает сравнительно легкий переход на спонтанное дыхание.
- Недостатки данного режима:

отсутствие реакции аппарата на повышение потребности в вентиляции — угроза развития альвеолярной гиповентиляции (имеет место при установке малой частоты принудительных вдохов < 9–10 в мин);

возможно развитие усталости дыхательных мышц при выставленной низкой чувствительности триггера;

медленное отвыкание больного от аппарата после прекращения ИВЛ;

недостатки и побочные эффекты объемной вентиляции.

Отметим, что в современных вентиляторах для обеспечения эффективной вентиляции в режиме SIMV используют метод поддержки давлением — PSV.

### **Вспомогательная вентиляция легких**

**PSV (Pressure Support Ventilation) или ASB (Assisted Spontaneous Breathing)** — вспомогательная вентиляция с поддержкой давлением, когда у ребенка имеется самостоятельное дыхание. Иногда данный режим называют «pressure support» — поддержка давлением. В настоящее время это наиболее часто используемый режим вентиляции в педиатрической практике. При данном режиме необходимо, чтобы у ребенка были устойчивые самостоятельные попытки дыхания с частотой близкой к нормальной (у подростков и взрослых не менее 10–12 вдохов в мин), и отсутствие выраженных нарушений механических свойств легких.

Режим поддержки давлением позволяет больным с самостоятельным дыханием самим определять ЧД и ДО (минутный объем вентиляции), а также время вдоха. На вдохе создается поддерживающее давление, принудительные аппаратные вдохи отсутствуют. Режим уменьшает работу дыхательных мышц, так как помогает преодолеть сопротивление эндотрахеальной трубки и дыхательного контура аппарата. Врач задает уровень поддерживающего давления, чувствительность триггера и  $FiO_2$ . Режим хорошо себя зарекомендовал у детей, требующих частичной респираторной поддержки, также режим предназначен для отвыкания больного от аппарата.

### **Адаптивные «интеллектуальные» режимы вентиляции**

В клинической практике используются недавно и продолжают активно разрабатываться. В настоящее время применяется вентиляция с управляемым давлением и поддержанием заданного ДО и режим с поддержанием заданного минутного объема вентиляции. Аппарат работает по принципу обратной связи, когда на основе анализа состояния легочной механики и основных параметров внешней вентиляции обеспечивается заданный минутный объем вентиляции.

Обычно на аппарате устанавливается масса тела больного, минутная вентиляция, РЕЕР,  $FiO_2$  и чувствительность триггера. Для достижения необходимого ДО аппарат рассчитывает и обеспечивает инспираторное дав-

ление. При работе с данными режимами требуется правильная настройка параметров минутной вентиляции и массы тела. Некоторые широко используемые термины представлены в прил.

### ВЫБОР СТАРТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Наиболее часто на аппаратах для проведения ИВЛ имеется следующий набор управляемых и контролируемых параметров:

$V_T$  — дыхательный объем (ДО). Физиологическое значение у детей всех возрастов — 6–8 мл/кг, при проведении ИВЛ он изначально составляет 10–15 мл/кг (у взрослых — 8–10 мл/кг). Далее значения подбирают по показателям вентиляции. Частоту дыхания выбирают так, чтобы минутный объем дыхания (МОД) составлял 150–190 мл/кг у детей грудного возраста, 100–150 мл/кг у детей старше года жизни и порядка 80–90 мл/кг у взрослых. В последующем МОД подбирают под контролем показаний  $P_aCO_2$  ( $EtCO_2$ ): оптимальные значения 35–38 мм рт. ст. и рН.

$f$  — частота дыхания (ЧД), которая устанавливается в зависимости от возраста: у новорожденных — 35–40 дых./мин, у детей от 1 мес. до 1 года жизни — 25–30 дых./мин; от года до 5 лет — 20–25 дых./мин; 6–12 лет — 15–20 дых./мин; у подростков 12–18. Увеличение ЧД свыше 30–35 дых./мин может приводить к увеличению вентиляции мертвого пространства, поэтому должно использоваться с осторожностью.

**PIP** (peak inspiratory pressure) — максимальное давление вдоха, регулируемое при прессициклической вентиляции. Нормальное значение у детей составляет 12–18 см вод. ст.; при снижении легочного комплайенса для расправления легких могут потребоваться гораздо большие значения — до 25–30 см вод. ст. В нормальных условиях стараются подобрать режим вентиляции так, чтобы PIP было больше плато на 15–20 % (на 3–4 см вод. ст.).

**PEEP** (positive end-expiratory pressure) — положительное давление конца выдоха (в русскоязычной литературе — ПДКВ). Данный параметр обеспечивает функциональную остаточную емкость (ФОЕ). В норме PEEP составляет 2–3 см вод. ст.; после интубации трахеи оно становится равным нулю. При проведении ИВЛ устанавливается PEEP в диапазоне 2–5 см вод. ст. При паренхиматозных поражениях легких ПДКВ является важнейшим параметром, определяющим оксигенацию крови: предотвращает коллапсирование бронхиол и альвеол; повышает альвеолярную вентиляцию. Добавление ПДКВ к обычному режиму вентиляции позволяет уменьшить  $FiO_2$ .

**$FiO_2$**  — фракционная концентрация кислорода во вдыхаемой газовой смеси. Она измеряется в долях единицы или процентах; при дыхании воздухом составляет 21 %, при ИВЛ — от 21 до 100% (0,21–1). Гипоксемия более опасна, чем кратковременная подача газовой смеси с высоким  $FiO_2$ , поэтому в начале вентиляции  $FiO_2$  следует установить в



пределах 90–100 %, а затем под контролем пульсоксиметрии и газового состава крови снизить так, чтобы при  $FiO_2$  менее 60 % поддерживать  $PaO_2$  выше 60–80 мм рт. ст. (в большинстве случаев оптимально поддерживать 90–105 мм рт. ст.).

**I : E** — соотношение времени вдоха к времени выдоха; у детей до года часто устанавливают соотношение 1 : 1 — 1 : 1,5, после года 1 : 2–1 : 2,5. При рестриктивных поражениях легких могут потребоваться более высокие величины 1 : 1,5 или даже 1 : 1–2 : 1 (для увеличения фазы газораспределения). Однако инверсия отношения I : E повышает риск баротравмы и отрицательных гемодинамических эффектов за счет роста внутригрудного давления. При обструктивных нарушениях показано низкое соотношение I : E — 1 : 2,5 или 1 : 3 для обеспечения необходимого времени для выдоха (профилактика развития газовой «ловушки»). При этом необходимо отметить, что время вдоха у детей устанавливается в пределах 0,5–1 с, а у подростков и взрослых — 1–1,5 с.

**Flow** — величина потока, регулируемая при использовании объемной вентиляции, а также при ИВЛ с постоянным потоком и ограничением по давлению у новорожденных. Стартовая величина инспираторного потока у детей старше 3 лет и взрослых рассчитывается, как  $4 \cdot \text{МОД}$ , у детей до 3 лет —  $3 \cdot \text{МОД}$ . Высокий поток способствует быстрому наполнению легких, но увеличивается время плато. Величина потока должна быть такой, чтобы время вдувания на кривой давление–время находилась в пределах 20–30 % от времени вдоха. Слишком высокое значение инспираторного потока является одним из повреждающих факторов.

**Pmean** — среднее давление в дыхательных путях, которое зависит от ЧД  $P_{\text{insp}}$ , PEEP,  $T_i$ ,  $T_e$  и  $V_{\text{insp}}$ . Данный показатель определяет эффективность распределения газовой смеси по легочным полям и газообмен. Слишком высокое среднее давление (более 18 см вод. ст.) может спровоцировать повышение легочного сосудистого сопротивления и затруднение венозного возврата, следовательно, снижение сердечного выброса и увеличение внутричерепного давления.

Изменяя параметры вентиляции, врач анестезиолог-реаниматолог должен представлять возможные последствия (табл. 2).

Таблица 2

#### Управление параметрами вентиляции

Параметр	Следствие	Ожидаемый результат	Возможные осложнения
$\uparrow FiO_2$	$\uparrow P_{AO_2}$	$\uparrow PaO_2$	Токсические эффекты кислорода, особенно при $FiO_2 \geq 60\%$
$\uparrow PIP$	$\uparrow P_{aw}$ $\uparrow V_T$	$\uparrow PaO_2$ $\downarrow PaCO_2$	Развитие баротравмы, пневмоторакса; снижение сердечного выброса
$\uparrow PEEP$	$\uparrow P_{aw}$	$\uparrow PaO_2$	Может иметь место увеличение $PaCO_2$ вследствие снижения ДО; снижение сердеч-

			ного выброса
↑ ЧД	↑ МАВ	↓ PaCO <sub>2</sub>	Снижение времени выдоха, угроза развития задержки газа (образование газовой «ловушки»)
↑ E:I	↑ P <sub>aw</sub>	↑ PaCO <sub>2</sub>	Снижение времени выдоха и образование «газовой ловушки»

\* МАВ — минутная альвеолярная вентиляция.

В ситуациях, когда нарастает PaCO<sub>2</sub>, а PaO<sub>2</sub> снижается, в первую очередь увеличивают PIP, а затем ЧД (естественно с учетом имеющихся показателей!). Когда снижается PaO<sub>2</sub>, а PaCO<sub>2</sub> остается в пределах нормы, то в первую очередь увеличивают РЕЕР, а затем FiO<sub>2</sub>. Изменения параметров газов крови с помощью параметров ИВЛ представлены в табл. 3. Контроль за эффективностью ИВЛ проводят только на основании значений PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> и pH.

Таблица 3

### Изменение показателей газов крови в зависимости от параметров ИВЛ

Регулировка параметров	ЧД	PIP	РЕЕР	Ti	FiO <sub>2</sub>
увеличения PaCO <sub>2</sub>	↓	↓	без изменений	не меняем	без изменений
уменьшения PaCO <sub>2</sub>	↑	↑	без изменений	без изменений	без изменений
увеличения PaO <sub>2</sub>	без изменений	↑	↑	↑	↑
уменьшения PaO <sub>2</sub>	без изменений	↓	↓	без изменений	↓

### ВЛИЯНИЕ ИСККУСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ НА ОРГАНИЗМ РЕБЕНКА

Рассматривая вопрос о влиянии ИВЛ на организм, надо подчеркнуть, что несмотря на это, если своевременно не купировать гипоксемию и/или гиперкарбию, чрезмерные энергетические затраты на дыхание, ребенка спасти не удастся. Поэтому требуется знать и уметь свести к минимуму отрицательные эффекты ИВЛ на организм.

#### Влияние искусственной вентиляции легких на легкие

При длительной вентиляции развиваются отрицательные эффекты ИВЛ на состояние легких. При изменении взаимосвязи между альвеолярным, артериокапиллярным и венозным давлением, ИВЛ способствует увеличению внесосудистой воды в интерстициальном пространстве легких (особенно выражено на фоне гиперкапнии).

При ИВЛ с жесткими режимами нарушается функция сурфактанта, что приводит к развитию ателектазов. А при использовании низких дыха-

тельных объемов развивается гиповентиляция легких, прогрессирующее ателектазирование и гипоксемия с гиперкапнией.

Высокие значения PIP перераздувают податливые участки легких и провоцируют развитие баротравмы легких (повреждаются альвеолы, развивается пневмоторакс, увеличивается проницаемость легочных капилляров, высвобождаются медиаторы воспаления).

### **Влияние искусственной вентиляции легких на гемодинамику**

При изменении отрицательного внутриплеврального давления на вдохе на положительное ИВЛ оказывает выраженное влияние на гемодинамику. Если при нормальном вдохе ударный объем увеличивается, а давление в легочной артерии уменьшается, то на фоне принудительного вдоха давление в дыхательных путях и плевральной полости увеличивается. Увеличение внутригрудного давления затрудняет венозный возврат и снижает сердечный выброс. В свою очередь рост внутриальвеолярного давления вызывает сдавление легочных капилляров и повышает легочное сосудистое сопротивление.

Таким образом, основное отрицательное влияние ИВЛ на систему кровообращения связано с принудительным аппаратным вдохом. Особенно оно выражено на фоне гиповолемии (резкое снижение преднагрузки), высоких значений среднего внутригрудного давления (оно само по себе снижает ударный объем и затрудняет отток по яремным венам), высоких значений аутоПДКВ (развивается при неполном выдохе и раннем экспираторном закрытии дыхательных путей), нарушенной сократительной функции миокарда.

Помимо этого снижение сердечного выброса приводит к уменьшению артериального почечного кровотока, скорости клубочковой фильтрации и диуреза; повышение давления в системе нижней полой вены провоцирует увеличение давления в почечных венах и снижает почечное перфузионное давление; искусственная вентиляция способствует продукции АДГ и предсердного натрийуретического гормона, что приводит к задержке воды и ионов натрия, а также снижению диуреза; может иметь место увеличение внутрибрюшного давления.

### **Влияние полного давления конца выдоха на организм**

ПДКВ увеличивает легочные объемы и, в частности, функциональную остаточную емкость, что расправляет спавшиеся участки легких (поддерживает альвеолы и мелкие дыхательные пути в открытом состоянии), улучшает распределение вентиляции и кровоснабжение легких, повышает PaO<sub>2</sub>.

Исследования показали, что ПДКВ не уменьшает отек легких, но улучшает газообмен вследствие увеличения объема альвеол и, возможно, за счет расслаивания отечной жидкости, создавая тем самым условия для вентиляции альвеол. Некоторые исследователи считают, что под влиянием

ПДКВ снижается частота развития апноэ у детей грудного возраста, хотя механизм данного явления неизвестен.

Частым осложнением, связанным с ПДКВ, особенно у детей, является повреждение легочной ткани под действием повышенного давления (баротравма), особенно, когда ПДКВ превышает 12–14 см вод. ст. (при дальнейшем увеличении нет улучшения растяжимости легких). Баротравма может проявляться разрывом альвеол или просачиванием воздуха в средостение, плевральную полость, перикард, брюшину или подкожную клетчатку.

При ПДКВ может изменяться распределение вентиляции легких. Раскрытие спавшихся дыхательных путей сопровождается повышением растяжимости легких. Но перерастяжение уже раскрывшихся путей и альвеол может привести к снижению растяжимости и увеличению отношения мертвого пространства к дыхательному ( $V_D/V_T$ ).

При высоком уровне РЕЕР (7–8 см вод. ст.) начинают проявляться побочные эффекты. ПДКВ снижает минутный объем сердца из-за повышения внутриплеврального давления и уменьшения венозного возврата. Это может быть устранено с помощью инфузионной терапии. Может играть роль и непосредственное сдавление сердца. Повышение давления в плевральной полости затрудняет венозный отток от сосудов головы и может увеличивать внутричерепное давление. Помимо этого высокие значения РЕЕР могут увеличивать сопротивление легочных сосудов.

ПДКВ снижает диурез и выделение натрия с мочой за счет перераспределения кровотока от коры почек к мозговому веществу, также повышает секрецию вазопрессина.

Обычно ПДКВ используют при рестриктивной патологии легких (респираторный дистресс-синдром, отек легких) как средство восстановления  $PaO_2$ . При использовании РЕЕР необходимо помнить, что данный показатель требует тщательного мониторинга и коррекции в зависимости от изменения состояния легких. Его увеличение производится пошагово: не более чем на 2 см вод. ст.; далее обязательна оценка полученных результатов каждые 20–30 минут. При положительной динамике состояния пациента не рекомендуется резкий отход от ПДКВ, так как это может спровоцировать отек слизистой бронхиол и усиление бронхосекреции. Поэтому РЕЕР снижают пошагово: на 2 см вод. ст. каждые 60–120 минут до 3–4 см вод. ст.

Очень осторожно требуется относиться к РЕЕР при тяжелых локальных поражениях легких, при высоких показателях среднего внутригрудного давления, на фоне тяжелой гиповолемии и гипотензии, внутричерепной гипертензии.

### **ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДА**

Человек может переносить дыхание 100 %  $O_2$  без риска интоксикации в течение 24 часов, а концентрация кислорода в 40 % не оказывает токсического

воздействия в течение длительного времени. Если необходимы концентрации кислорода превышающие 40 %, следует использовать как можно более низкие концентрации в течение минимально возможного времени.

Кислород оказывает токсическое действие на ЦНС и легкие. (при накоплении токсических кислородных радикалов). Считают, что кислород замедляет митохондриальный транспорт электронов или вызывает окисление липидов до перекисей, ингибируя функцию ферментов, снижает синтез белка в легком, в том числе синтез в поверхностно-активном слое.

У новорожденных наблюдается воспалительная реакция на кислород, полиморфно-ядерные лейкоциты выделяют эластазу. Эта реакция связана с бронхолегочной дисплазией.

В высокой концентрации кислород вытесняет из альвеол азот, вызывая их спадение и ателектазы. Токсическое действие кислорода приводит к ухудшению оксигенации крови и образованию легочных инфильтратов. Увлажнение кислорода позволяет предотвратить высыхание слизистой бронхов. Считается, что длительная ингаляция (свыше 48 часов) через эндотрахеальную трубку смеси, содержащей более 60 % O<sub>2</sub>, опасна.

Подачу кислорода нужно подбирать так, чтобы у недоношенных детей с высоким риском развития ретролентальной фиброплазии PaO<sub>2</sub> составляло 50–90 мм рт. ст., а у старших детей и взрослых — не ниже 70–80 мм рт. ст.

#### **АСИНХРОННОЕ ДЫХАНИЕ («БОРЬБА С РЕСПИРАТОРОМ»)**

Асинхронное дыхание при проведении ИВЛ возникает:  
если самостоятельное дыхание не совпадает с аппаратным;  
неправильно подобран ДО или ЧД;  
при скоплении мокроты в дыхательных путях;  
снижении концентрации кислорода в дыхательной смеси;  
отключении увлажнителя;  
развитии ателектазов (отмечается увеличение пикового давления на вдохе);  
увеличении температуры тела ребенка;  
пирогенной, анафилактической или токсической реакции на растворы и/или препараты.

Обязательно требуется тщательный подбор режима ИВЛ: ЧД, ДО, скорость потока. Если эти меры не обеспечили синхронизацию дыхания, то используют седативные препараты, а при их неэффективности — миорелаксанты.

#### **ПЕРЕВОД НА САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ДЫХАНИЕ**

Перевод на спонтанное дыхание осуществляют постепенно. Успех зависит от общего состояния пациента, состояния сердца и легких. При

кратковременной ИВЛ ее прекращение не опасно и методика отмены вентиляции не всегда важна. Но при длительной ИВЛ и/или наличии хронических заболеваний легких, неполном восстановлении их функций метод перевода на спонтанное дыхание может оказывать решающую роль на исход процедуры и течение всего заболевания.

Необходимо отметить, что ни один из методов отмены ИВЛ не является общепризнанным. Используют интермиттирующую принудительную вентиляцию (SIMV), метод поддержки давлением (ASB), переводят больного на дыхание через Т-образную систему в течение все более возрастающих периодов времени. Время, необходимое для прекращения ИВЛ, зависит от обмена веществ, питания ребенка, тяжести состояния до ИВЛ. Период отмены варьирует от нескольких минут до нескольких недель.

Для **прекращения ИВЛ** необходимо:

ясное сознание или его восстановление до исходного уровня;

положительная динамика в легких;

максимальная сила вдоха более — 20 см вод. ст. (–25 см вод. ст. у взрослых);

жизненная емкость легких больше 10–15 мл/кг;

$PaO_2 > 70$  мм рт. ст. при  $FiO_2 \leq 40$  %;

$PaCO_2$  в пределах нормы;

$PEEP \leq 5$  см вод. ст. (новорожденные и дети грудного возраста  $\leq 3$  см вод. ст.);

МОД  $< 10$  л/мин; ЧД  $< 25$  дых./мин (для взрослых), у детей близко к возрастной норме;

устойчивое состояние сердечно-сосудистой системы — показатели центральной гемодинамики в пределах  $\pm 20$  % от возрастной нормы без существенных доз кардиотоников (доза дофамина  $\leq 5$  мкг/кг/мин);

стабильные показатели гомеостаза;

работающий желудочно-кишечный тракт (как минимум отсутствие застойного отделяемого);

компенсированное состояние печени и почек.

Отмену ИВЛ всегда начинают с уменьшения PIP и  $FiO_2$  как наиболее агрессивных показателей вентиляции. PIP уменьшают ступенчато, по 2 см вод. ст. через каждые 2 часа. PEEP снижают при хорошей оксигенации (т. е. когда  $FiO_2 < 40$  %) до 4 см вод. ст. Каждый следующий шаг делают через 4–6 часов. Перевод на спонтанное дыхание производят при частоте вспомогательной вентиляции 4–6 дых./мин.

Перед прекращением ИВЛ лучше перевести ребенка на спонтанную вентиляцию при постоянном положительном давлении в дыхательных путях (2–4 см вод. ст.) вплоть экстубации. Этим удастся поддержать соответствующую ФОЕ легких и предупредить спадение дистальных отделов дыхательных путей с последующей гипоксией.

## ЭКСТУБАЦИЯ

Экстубацию выполняют, когда перевод больного на самостоятельное дыхание завершен, дыхательные пути свободно проходимы и нет угрозы аспирации. Ее желательно делать в утренние часы (врачами, пришедшими на смену). При этом необходимо:

приподнять изголовье кровати на 20–30°;

приготовить оборудование на случай повторной интубации;

подготовить подачу высокого потока хорошо увлажненного кислорода ( $F_iO_2 >$  на 5–10 %, чем получал больной); в течение 3–5 мин провести предварительную оксигенацию при потоке кислорода 100 %;

произвести отсасывание содержимого желудка и удалить желудочный зонд; тщательно аспирировать мокроту из дыхательных путей и ротоглотки;

снять фиксирующие полоски лейкопластыря и удалить воздух из манжетки (если она есть);

вручную ввести избыточное количество воздуха в легкие и в конце выдоха произвести экстубацию. Это часто вызывает кашель, способствующий удалению секрета из дыхательных путей;

сделать оксигенацию кислородом, проверить показатели жизнедеятельности и газовый состав крови. Нужно помнить о возможности ларингоспазма, поэтому надо интенсивное наблюдение за больным и частая аускультация в течение первых 4–6 часов.

при нарастающей гипоксемии, гиперкапнии, ацидозе или ларингоспазме, не поддающихся терапии, повторная интубация трахеи.

**К основным причинам неудачной экстубации** относят:

Избыток мокроты в дыхательных путях, что повышает их сопротивление и увеличивает работу дыхательных мышц. При этом к скоплению мокроты приводят повышенное ее образование при недолеченной легочной инфекции; недостаточное выведение вследствие неэффективного кашля; неполное удаление мокроты перед экстубацией.

Обструкцию верхних дыхательных путей. В течение 24 часов после экстубации отек голосовых складок и подсвязочного пространства может вызывать стридор. Стероиды для лечения стридора применять не рекомендуется. Иногда их используют для уменьшения воспаления, которое может помешать экстубации.

Усталость дыхательных мышц. К данному состоянию приводят их усиленная работа при прогрессирующих недолеченных заболеваниях легких; нарушение их функции, обусловленное ИВЛ; недостаточное питание; гипоксемия; нарушение сердечного выброса; метаболические нарушения (гипофосфатемия, гипокалиемия, гипомагниемия); неправильная методика перевода на спонтанное дыхание.

## АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ У НОВОРОЖДЕННЫХ С ПАРЕНХИМАТОЗНОЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

Клинические примеры: пневмония, болезнь гиалиновых мембран, пневмопатия, острый отек легких и др. Характеристика состояния: гипоксемия; гипокапния, сменяющаяся на гиперкапнию; снижены дыхательный объем, жизненная емкость и функциональная остаточная емкость легких; изкий комплайнс легких; частота дыхания увеличена.

### **Стартовый режим:**

IT = 1–1,5 с;

IT : ET = 1 : 1 или 1 : 1,5;

f = 20–30 в минуту;

PIP = 25–30 см вод. ст.;

PEEP = + 3–5 см вод. ст.;

FiO<sub>2</sub> = 0,6;

поток 3–4 л/мин.

### **Немедленная оценка полученного результата:**

аускультация — немедленно после перевода на ИВЛ;

экскурсия грудной клетки на 1–1,5 см;

синхронизация с аппаратом;

PaCO<sub>2</sub> = 35–45 мм рт. ст. (оценка через 20 минут);

PaO<sub>2</sub> = 55–75 мм рт. ст. (оценка через 20 минут);

SpO<sub>2</sub> = 93–98 %.

Последующая **оценка результатов** проводят **через 30–60 минут**.

Могут возникать следующие ситуации:

Необходимость увеличить PaO<sub>2</sub>. Для этого последовательно проводим следующие шаги:

увеличивают PEEP до 6–8 см вод. ст.; при увеличении PEEP до 6 см вод. ст. назначают допамин в дозе 3–5 мкг/кг/мин;

увеличивают FiO<sub>2</sub> до 0,8;

при использовании вышеприведенных шагов и необходимости превышения FiO<sub>2</sub> > 0,8 и PIP > 30 см вод. ст. применяют мышечные релаксанты (0,05 мг/кг ардуана) и 0,2–0,5 мг/кг седуксена каждые 4–6 часов.

Необходимость снизить PaCO<sub>2</sub> до 35–45 мм рт. ст. Для этого последовательно проводят следующие шаги:

увеличивают PIP, до 30 см вод. ст.;

увеличивают f по 5 дыханий до 60–80 в 1 минуту при IT : ET = 1 : 1,5 или 1 : 2.

Контроль уровня PaCO<sub>2</sub> при метаболическом ацидозе: снижение HCO<sub>3</sub> на 1 ммоль/л ниже 24 ммоль/л требует снижения PaCO<sub>2</sub> на 1 мм рт. ст. ниже 40 мм рт. ст.



Необходимость уменьшить  $PaO_2$ . Для этого последовательно проводят следующие шаги:

уменьшают  $FiO_2$  по 0,1 до 0,3;

уменьшают PIP по 2 см до 18–12 см вод. ст.

Необходимость увеличить  $PaCO_2$  (при отсутствии метаболического ацидоза). Предпринимаем следующие шаги (при  $HCO_3 = 24–22$  ммоль/л):

уменьшают  $f$  по 5 дыханий до 30 в минуту при IT : ET = 1 : 1 или 1 : 1,5;

уменьшают PIP по 2 см вод. ст. до 18–12 см вод. ст.

Необходимость коррегировать низкий pH:

проводят коррекцию газового ацидоза (см. пункт 2);

устраняют гипоксемию;

уменьшают PIP (не более 30 см вод. ст.), уменьшают IT (не более 0,75 с), т. е. уменьшают среднее внутрилегочное давление.

Коррекция анемии ( $Hb > 120–130$  г/л )

Кардиотоническая терапия (допамин, добутрекс).

### АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ИВЛ у НОВОРОЖДЕННЫХ С ОБСТРУКТИВНОЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

Клинические примеры: аспирационный синдром, муковисцидоз, бронхолегочная дисплазия. Характеристика состояния: снижена альвеолярная вентиляция.

#### **Стартовый режим:**

IT = 0,5–0,65 с;

IT : ET = 1 : 2;

$f = 40–50$  в минуту;

PIP  $\leq 25$  см вод. ст.;

PEEP = 2 см вод. ст.;

$FiO_2 = 0,6$ ;

поток 6–10 л/мин.

**Конечный полезный результат** (оценка в течении первых 20 мин):

аускультация;

экскурсия грудной клетки 1–1,5 см;

$PaO_2 = 55–75$  мм рт. ст.;

$PaCO_2 = 35–45$  мм рт. ст.;

$SpO_2 = 93–98$  %.

**При оценке через 30–60 мин** могут возникнуть следующие ситуации:

Необходимость увеличить  $PaO_2$ :

увеличивают PIP до 30–35 см вод. ст. (по 2 см вод. ст.);

увеличивают  $FiO_2$  по 0,1 до 0,8 (1,0 — по жизненным показаниям);

проводят коррекцию гемодинамики.

Необходимость уменьшить  $PaO_2$ :

уменьшают  $F_iO_2$  по 0,1 до 0,3–0,21;  
уменьшают PIP по 2 см до 18 см вод. ст.

Необходимость уменьшить  $PaCO_2$ :

увеличивают поток до 12–14 л/мин;

увеличивают  $f$  до 60–80 в мин при IT : ET = 1 : 2;

увеличивают PIP до 30–35 см вод. ст.

Необходимость увеличить  $PaCO_2$  (при отсутствии метаболического ацидоза):

уменьшают поток до 6–8 л/мин;

уменьшают PIP до 20–18 см вод. ст. (по 2 см вод. ст.);

уменьшают  $f$  по 5 до 30 дых./мин.

### АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ИВЛ У НОВОРОЖДЕННЫХ С ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ (ВНЕЛЕГОЧНОЙ) ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

Клинические примеры: угнетение функции ЦНС, миопатии, заболевания периферической нервной системы и др. Характеристика состояния: нарушение целостности нейромускулярного драйвинга и, как результат, гиповентиляция с нарастанием гиперкарбии и гипоксемии.

#### **Стартовый режим:**

IT = 0,75–0,85 с;

IT : ET = 1 : 1,5;

$f$  = 36–40 в мин;

PIP = 12–18 см вод. ст.;

PEEP = 2 см вод. ст.;

$F_iO_2$  = 0,4;

поток 3–5 л/мин.

#### **Конечный полезный результат:**

аускультация;

экскурсия гр. клетки 1–1,5 см.;

$PaO_2$  = 55–75 мм рт.ст.;

$PaCO_2$  = 35–45 мм рт.ст.;

$SpO_2$  = 93–98%.

**При оценке через 30–60 мин** могут возникнуть следующие ситуации:

Если альвеолярная вентиляция неадекватна, т. е. увеличено  $PaCO_2$  и снижена  $PaO_2$ , то увеличивают PIP и  $f$ .

Если неадекватна оксигенация, т. е. снижено  $PaO_2$ , а  $PaCO_2$  нормальное, то увеличиваем PEEP до 5–6 см вод. ст., затем  $F_iO_2$ .

## ЛИТЕРАТУРА

*Анестезия в педиатрии* : пер. с англ. / под ред. Джорджа А. Грегори. М. : Медицина, 2003. С. 251–283.

*Курен, В. В.* Анестезия и интенсивная терапия у детей. / В. В. Курен, А. Е. Кулагин, Д. А. Фурманчук. 2-е изд. пер. и доп. М. : Мед. лит., 2007. С. 59–88.

*Гриппи, М. А.* Патофизиология легких : пер. с англ. / М. А. Гриппи. М., 2000. 344 с.

*Зильбер, А. П.* Дыхательная недостаточность / А. П. Зильбер. М. Медицина, 1989. 512 с.

*Кассиль, В. Л.* Искусственная и вспомогательная вентиляция легких / В. Л. Кассиль, М. А. Выжигина, Г. С. Лескин М. : Медицина, 2004. 480 с.

*Сатишур О. Е.* Механическая вентиляция легких / О. Е. Сатишур. М. : Мед. лит., 2006. 352 с.

РЕПОЗИТОРИЙ БГУ

### Некоторые используемые термины

**SB — Spontaneous Breathing** — самостоятельное дыхание.

**CPAP — Continuous Positive Airway Pressure** — самостоятельное дыхание с постоянным положительным давлением в дыхательных путях.

**MMV — Mandatory Minute Volume Ventilation** — вентиляция с принудительным минутным объемом (самостоятельное дыхание с добавлением принудительной вентиляции до определенного заданного минутного объема).

**Apnoea ventilation** — контроль самостоятельного дыхания аппаратом с возвращением к ИВЛ при остановке дыхания по истечению заданного времени контроля.

**Tachypnoea** — контроль одышки (указывает на увеличение вентиляции мертвого пространства и уменьшение адекватной альвеолярной вентиляции).

**CPAP/ASB** — обеспечивает самостоятельное дыхание пациента с наименьшим усилием вдоха. Поддержка давлением при помощи ASB начинается:

когда самостоятельный инспираторный поток достигает установленных величин триггера потока;

объем вдоха при спонтанном дыхании превышает 25 мл или 12 мл в режиме детской вентиляции.

Тогда аппарат увеличивает давление до выбранного врачом. ASB отключается:

когда инспираторный поток возвращается к 0 во время фазы I (выдох); инспираторный поток в фазу II падает ниже определенных показателей.

### Некоторые показатели вентиляции

Показатель	Значение
Выделение углекислоты, мл/мин	180–230
Поглощение кислорода:	190–250 мл/мин
– новорожденные;	6,9–8,5 мл/кг/мин
– взрослые	3,3–3,5 мл/кг/мин у взрослых
Дыхательный коэффициент	0,8–0,83
Альвеолярная вентиляция, мл/кг/мин:	
– новорожденные;	120
– взрослые	60
ФОЕ, мл/кг:	
– новорожденные;	30
– взрослые	34

Окончание прил. 2

Показатель	Значение
Мертвое пространство, мл/кг	2,2
Растяжимость легких, л/см вод. ст.:	
– новорожденные;	0,004
– взрослые	0,015
Аэродинамическое сопротивление дыхательных путей см вод. ст./л/с	
– новорожденные;	40
– взрослые	0,8–2,4

Приложение 3

Средние величины парциального давления газов

Показатель	Вдыхаемый воздух, мм рт. ст.	Альвеолярный газ, мм рт. ст.	Выдыхаемый воздух, мм рт. ст.
pO <sub>2</sub>	159	100	116
pCO <sub>2</sub>	0,3	40	32

Приложение 4

Газовый состав

Показатель	Альвеолярный воздух	Артериальная кровь	Смешанная венозная кровь
PO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	99–110	80–100	40–50
PCO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	30–41	36–44	42–48
SaO <sub>2</sub> , %	–	96–99	70–75

Приложение 5

Корреляционная связь между SaO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> и pH

PaO <sub>2</sub>	SaO <sub>2</sub>				
	pH-7,3	pH-7,35	pH-7,4	pH-7,45	pH-7,5
120	98	98	98	98–99	99
100	97	97	97	97	97
90	96	96	97	97	97
80	95	95	96	96	97
70	92	93	94	95	95
65	91	92	93	94	94
60	88	90	91	92	93
55	85	87	89	90	91
50	81	83	85	87	88
45	76	78	80	83	85
40	69	71	74	77	79
35	61	63	66	69	72
30	51	54	57	60	62

**Сравнение параметров обычной и высокочастотной ИВЛ**

ИВЛ	ЧД, мин	T <sub>i</sub> , с	Р <sub>IP</sub> , см вод. ст.	РЕЕР, см вод. ст.	МАР, см вод. ст.
Обычная	< 60	0,4–1	14–45	2–8	10–20
Высокочастотная	60–150	< 0,4	15–20	< 3	< 10

**Зависимость f<sub>IO2</sub> подаваемой по назальной канюли от потока кислорода**

Скорость общего потока, л/мин	FiO <sub>2</sub> , %			
	100	80	60	40
0,25	34	31	26	22
0,5	44	37	31	24
0,75	60	42	35	25
1	66	49	38	27

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Показания к искусственной вентиляции легких .....	3
Схема проведения интубации ТРАХЕИ и начала искусственной вентиляции легких .....	4
Показания к проведению интубации .....	8
режимы проведения искусственной вентиляции легких .....	10
Возможные режимы вентиляции легких .....	11
Выбор стартовых параметров вентиляции легких .....	16
Влияние искусственной вентиляции легких на организм ребенка .....	18
Токсическое действие кислорода .....	20
Асинхронное дыхание («борьба с респиратором») .....	21
Перевод на самостоятельное дыхание .....	21
Экстубация .....	23
Алгоритм проведения искусственной вентиляции легких у новорожденных с паренхиматозной дыхательной недостаточностью .....	24
Алгоритм проведения ивл у новорожденных с обструктивной дыхательной недостаточностью .....	25
Алгоритм проведения ивл у новорожденных с вентиляционной (внелегочной) дыхательной недостаточностью .....	26
Литература .....	27
Приложение 1 .....	28
Приложение 2 .....	28
Приложение 3 .....	29
Приложение 4 .....	29
Приложение 5 .....	29
Приложение 6 .....	30
Приложение 7 .....	30

Учебное издание

**Кулагин** Алексей Евгениевич  
**Заневский** Вячеслав Петрович  
**Ялонецкий** Игорь Зиновьевич

# ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ У ДЕТЕЙ

Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск О. Т. Прасмыцкий  
Редактор А. В. Михалёнок  
Компьютерная верстка А. В. Янушкевич

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Кюм Люкс».

Печать офсетная. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. л. 1,46. Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет».

ЛИ № 02330/0494330 от 16.03.2009.

ЛП № 02330/0150484 от 25.02.2009.

Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.