

П.А. Брыгин

*Методы и режимы современной
искусственной вентиляции
лёгких*

Глава 1. ИВЛ в современной интенсивной терапии	3
Терминология	4
Глава 2. Основные принципы современной респираторной терапии	5
Логика врача	5
Параметры дыхания пациента, их значение для подбора оптимального режима ИВЛ и диагностики состояния респираторной системы	5
Особенности современных аппаратов ИВЛ, подход к детальному описанию методов и режимов	7
Глава 3. Формирование дыхательного цикла	8
Дыхательный цикл	8
Принудительные методы вентиляции	9
Метод вентиляции - Volume control ventilation — вентиляция с управляемым объемом	10
Метод вентиляции - Pressure control ventilation - «вентиляция с управляемым давлением»	15
Спонтанный дыхательный цикл	20
Вспомогательные методы вентиляции	21
Метод вентиляции — Pressure support ventilation — вентиляция с поддержкой давлением	22
Опции PEEP/CPAP (Positive End-Expiratory Pressure /Continus Positive Airway Pressure - Положительное давление на выдохе/постоянное положительное давление)	24
Глава 4. Формирование ритма вентиляции	26
Триггер	27
Режимы формирования ритма вентиляции	29
Режимы CMV(Continus Mandatory Ventilation) - Постоянная принудительная вентиляция	29
Режим (S)CMV (Synchronized Continus Mandatory Ventilation) - Синхронизированная постоянная принудительная вентиляция	29
Режим Spont — спонтанная вентиляция	30
Режим SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) — Синхронизированная Перемежающаяся Принудительная вентиляции	31
Сравнение режимов (s)cmv и simv	32
Глава 5. Дополнительные методы и режимы вентиляции	33
Опция Sigh - Вздох	33
Режим IRV—intensive ratio ventilation— вентиляция с обратным соотношением вдох/выдох	33
Режим BiPAP-BIFASICpositive airway ressure -вентиляция с двумя уровнями сдвумя дпум уровнями постоянного положительного давления.....	34
Метод Pressure limited ventilation (PLV) - (объемная) вентиляция с ограничением давления	36
Апноэ Ventilation - вентиляция апноэ	37
VAPS—volume assured pressure support —вентиляция с поддержкой давлением с гарантированным, дыхательным объемом	38
Глава 6. Клинический пример использования графического мониторинга для оценки адекватности ИВЛ	39
Заключение.....	42

Заключение

Мы детально рассмотрели практически все современные методы и режимы искусственной вентиляции легких. Выбор того или иного режима — творческая задача, которую должен решать врач в каждой конкретной клинической ситуации. Однако основной принцип современной респираторной терапии всегда должен быть соблюден: *Вентилятор должен быть адаптирован к нуждам пациента, а не наоборот!* Нужно постоянно стремиться использовать режимы с наименьшей необходимой пациенту «степенью респираторной поддержки» - Pressure control, Pressure support, SIMV, пусть даже это потребует от врача более внимательного наблюдения за пациентом. При переводе пациента на самостоятельное дыхание целесообразно делать это максимально постепенно уменьшать частоту принудительных вдохов в режиме SIMV до нуля, затем использовать самостоятельное дыхание с поддержкой давлением (Pressure support), постепенно уменьшая уровень давления поддержки.

Полноценный мониторинг состояния больного - ЧСС, АД, пульсоксиметрия (SpO_2), оксиметрия смешанной венозной крови (SvO_2), газовый состав крови - также может принести ценные данные для выбора того или иного режима вентиляции.

В заключение отметим, что успех респираторной терапии в большой степени зависит от правильного сестринского наблюдения и ухода за пациентом и респиратором. Так, адекватное увлажнение дыхательной смеси позволит избежать многих осложнений, связанных с нарушением проходимости трахеобронхиального дерева, своевременное удаление из контура конденсированной воды позволяет обеспечить нормальную работу триггерных систем респиратора и, соответственно, обеспечить заданный ритм дыхания.

Глава 1. ИВЛ в современной интенсивной терапии

Искусственная вентиляция легких - одно из важнейших лечебных мероприятий в современной интенсивной терапии. Показания к проведению ИВЛ в наше время значительно расширились в связи с появлением современной аппаратуры, позволяющей, с одной стороны, проводить ИВЛ с наименьшей травматичностью для респираторной системы пациента (контроль давления в дыхательных путях, адекватное увлажнение и подогрев дыхательной смеси), с другой - имеющей режимы плавного уменьшения респираторной поддержки, облегчающие перевод больного на самостоятельное дыхание.

Можно выделить несколько типов клинических ситуаций, требующих проведения ИВЛ:

Поражение непосредственно респираторной системы пациента вентиляционная дыхательная недостаточность - тяжелые пневмонии, травмы груди с повреждением реберного каркаса, респираторный дистресс-синдром взрослых.

Особенности этих ситуаций в том, что пациенты чаще всего в сознании. Дыхательный центр больного способен регулировать параметры дыхания. Следовательно, требуются преимущественно вспомогательные методы ИВЛ (Pressure support), направленные на уменьшение работы дыхания.

Показаниями для начала ИВЛ служит обычно нарастание одышки, уменьшение дыхательного объема, снижение PaO_2 Минутный объем дыхания (ориентир - PaCO_2) может быть как снижен (гиповентиляция) — в стадии декомпенсации, так и повышен (гиповентиляция) — в стадии субкомпенсации. Предпочтительнее начинать ИВЛ в стадии субкомпенсации.

2. Нарушения нервной регуляции дыхания, центральные (ЧМТ и ОНМК с поражением ствола мозга, отравление опиатами) и периферические (применение миорелаксантов). В этих ситуациях требуется полное замещение регуляторной функции дыхательного центра, применение при нудительных методах ИВЛ с адекватным мониторингом газов артериальной крови.

Клиническими показаниями к началу ИВЛ служит урежение частоты дыхания (вплоть до апноэ), гиповентиляция.

3. ИВЛ в связи с внутричерепной гипертензией (ЧМТ, ОНМК, гипоксия).

Функция внешнего дыхания больного может быть, не нарушена! Минутным объемом дыхания, частота дыхания, дыхательный объем, PaCO_2 , в норме, однако пациенту необходимо проведение ИВЛ в режиме умеренной гиповентиляции с целью снижения PaCO_2 до 25-30 мм Hg

Клиническими показаниями к началу ИВЛ будут признаки внутричерепной гипертензии: угнетение сознания до уровня сопора и комы, судорожный синдром, отрицательная неврологическая динамика, а также ранний (до 1 сут.) послеоперационный и посттравматический период. В раннем периоде лечения применяются принудительные режимы вентиляции, и дальнейшем — выбор режима ИВЛ основывается на данных мониторинга внутричерепного давления.

4. ИВЛ в связи с крайне тяжелым общим состоянием больного - травматический, инфекционно-токсический шок, синдром полиорганной недостаточности, сепсис. Собственно респираторная система пациента может быть не поражена, регуляция дыхания в норме, однако пациенту требуется проведение ИВЛ с целью увеличения доставки кислорода с одновременным снижением его

затрат на дыхание.

Клиническими показаниями к началу ИВЛ будут все признаки общем тяжести состояния — объем перенесенной травмы, операции и кровопотери, выраженная продолжительная гипотония, выраженная гипертермия, клинические и лабораторные признаки тяжелой интоксикации. Чаще используются принудительные режимы вентиляции несмотря на уровень сознания больного, при необходимости вводятся седативные препараты.

Таким образом, необходимость ИВЛ не всегда связана напрямую с нарушением функции внешнего дыхания. Критерии для начала и прекращения ИВЛ до сих пор широко обсуждаются в литературе, проблема остается не до конца решенной.

Современная дыхательная аппаратура, снабженная микропроцессорным управлением, реализует большое количество методов и режимов, используемых в перечисленных клинических ситуациях. Очевидно, что детальное представление врача о том, как функционирует респиратор в том или ином режиме - основа успешного лечения и гарантия безопасности пациента.

Терминология

В связи с тем, что большинство современных дыхательных аппаратов - западноевропейского и американского производства и большинство литературных источников по этой теме опубликовано на английском языке, возникает необходимость адаптации англоязычных терминов для русскоязычного пользователя. Попытки перевода английских понятий на русский язык нередко искажают их смысл и препятствуют их пониманию. Особенно трудны для восприятия созданные из русского перевода аббревиатуры. Поэтому в данном руководстве будут использоваться только англоязычные аббревиатуры, для понимания они будут расшифрованы на английском и дословно переведены на русский. В качестве базового для однозначной идентификации того или иного понятия предлагается использовать англоязычный термин и его аббревиатуру. Русский перевод будет считаться дополнительным. Поэтому частое использование англоязычных терминов имеет целью преодолеть терминологическую путаницу и облегчить в дальнейшем эксплуатацию дыхательной аппаратуры и взаимодействие специалистов.

Дискуссия по поводу точности и общепринятости русских переводов и аббревиатур представляется нецелесообразной.

В литературе нет терминологического единства относительно самого понятия «режим ИВЛ». Дело в том, что некоторые понятия (volume control, pressure control, pressure support) касаются только способа формирования отдельного дыхательного цикла, другие - CMV, (s)CMV, SIMV - отражают принципы формирования ритма вентиляции. Понятия «вентиляция по давлению» и «вентиляция по объему» принято обозначать как два «метода» (mode) (Точный перевод-«способ». «вид» Однако для удобства переведем «mode» как метод вентиляции)

При этом имеется в виду способ формирования отдельного дыхательного цикла. Предлагается все виды дыхательных циклов, как принудительных, так и вспомогательных обозначать как «методы вентиляции», под понятием «режим» подразумевать принцип формирования ритма вентиляции.

Таким образом, полное описание РЕЖИМА РЕСПИРАТОРНОЙ ТЕРАПИИ у конкретного больного должно выглядеть примерно так:

«режим SIMV, триггер «по давлению», чувствительность -1 см H₂O, метод вентиляции Volume control + Pressure Support (VC - 10 в 1 мин (пиковый поток на вдохе - 65 л/мин, время вдоха -0.9 сек., форма кривой потока -deceleration), PSV + 20 см H₂O, уровень PEEP/CPAP+ 7см H₂O, FiO₂- 0.4, данные мониторинга

С целью ограничения пикового давления в дыхательных путях в условиях проведения длительной ИВЛ после стабилизации состояния метод вентиляции изменен на Pressure control!

Рис.27

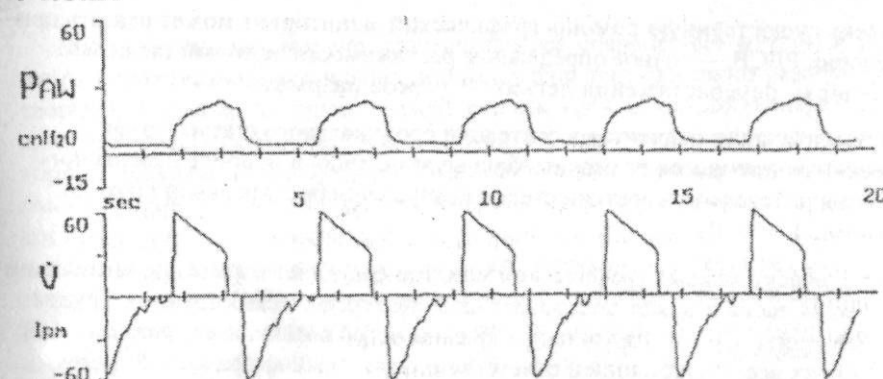
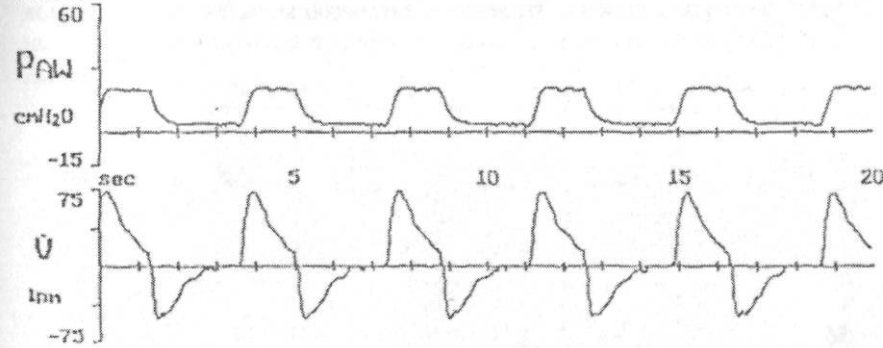


Рис.28



При вентиляции «по давлению» также отмечается типичная форма потока с постепенным снижением потока к концу вдоха и нормальная форма потока выдоха. Таким образом, данные графического мониторинга сыграли решающую роль в диагностике респираторной проблемы.

Очень существенную помощь графический мониторинг может оказать при лечении РДСВ — точное определение растяжимости легочной ткани, признаки перерастяжения легких — угроза разрыва.

При вентиляции пациентов в состоянии бронхиального статуса графический монитор может оказать большую помощь в подборе безопасного уровня потока и диагностики степени нарушения бронхиальной проходимости.

Практически каждый графический монитор сохраняет параметры вентиляции около 24 часов и может показывать их в виде графических трендов. Трудно переоценить эту возможность при анализе остро возникших осложнений. В условиях все возрастающей ответственности врача графический тренд может являться документальным доказательством адекватности проводимой ИВЛ.

Можно сказать, что графический мониторинг на сегодняшний день — необходимый элемент качественной респираторной терапии.

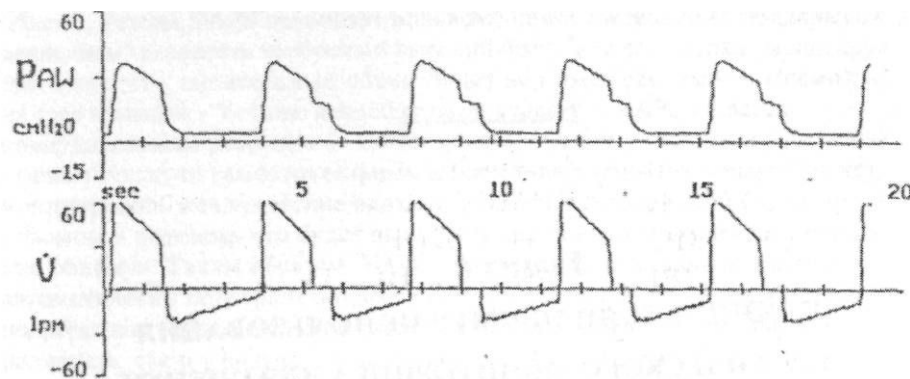
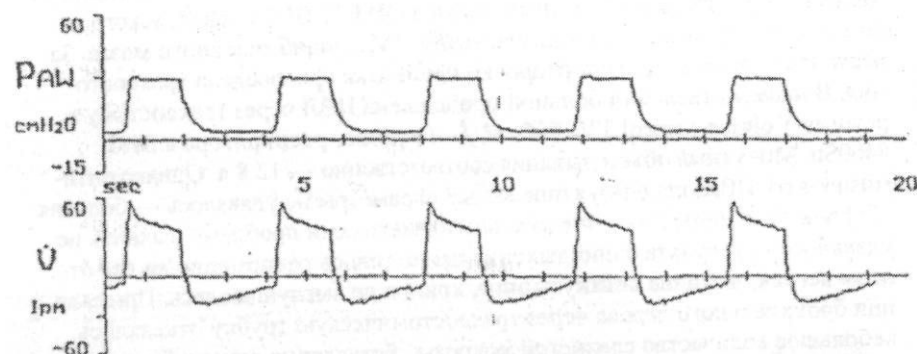


Рис.26



Обращает на себя внимание совершенно нетипичная форма кривой давления при вентиляции по методу Volume control deceleration-мы не видим постепенного равномерного увеличения давления от начала к концу вдоха, напротив, видим пик давления в начале вдоха и некоторым снижением к концу. Обращает на себя внимание также резкий перепад давления между пиком и инспираторной паузой. Кривая выдоха сглажена, имеются признаки неполноценного выдоха.

Предпринята попытка продолжить ИВЛ по методу Pressure control:

Также отмечается сниженный пиковый поток на выдохе и нетипичная кривая потока на вдохе при вентиляции с управляемым давлением - поток на вдохе почти постоянен % времени вдоха. На основании данных графического мониторинга сделано предположение о нарушении проходимости дыхательных путей. Больной удалена трахеостомическая трубка (d:7 мм, ниже которой обнаружен большой сгусток крови. Сгусток удален, установлена трахеостомическая трубка (d:8 мм). Продолжена ИВЛ по методу Volume control с прежними параметрами:

Видим характерное для данного метода вентиляции (Volume control, deceleration flow) постепенное повышение давления от начала к концу вдоха с некоторым снижением во время инспираторной паузы. Поток на выдохе с отчетливым пиком, уменьшается до нуля до начала следующего вдоха (полноценный выдох).

На данном режиме больная синхронизировалась с аппаратом, все данные физических и лабораторных исследований подтверждали оптимальность режима вентиляции.

МОД - 11.5-12 л/мин, ЧД— 18 в 1 мин, дыхательный объем Pressure support-цикл-400-460 мл.»

Подпонятие «метод вентиляции» подходят также современные «интеллектуальные» виды вентиляции - Pressure limited ventilation, BiPAP, VAPS.

Глава 2. Основные принципы современной респираторной терапии

Логика врача

Пожалуй, наиболее важным моментом в осмыслении принципов со временной респираторной терапии представляется искоренение известного жаргонного выражения реаниматологов «*больной не синхронен с аппаратом!*». Прямое следствие этого подхода - массивное применение седативных препаратов, т.е. подавление собственной регуляторной системы пациента. Необходимо осознать, что сопротивление пациента работе вентилятора (десинхронизация системы «ПАЦИЕНТ — респиратор») свидетельствует о несоответствии параметров работы респиратора потребностям пациента.

Следовательно, именно вентилятор необходимо адаптировать к потребностям Пациента, а не пациента к механическому аппарату. Таким образом, тактика врача всегда состоит в том, чтобы детально понять потребности больного и в соответствии с ними оптимизировать работу респиратора (Существуют специальные режимы респираторной терапии, требующие преодоления сопротивления пациента с помощью седативных средств, например вентиляция с обратным соотношением вдоха/выдоха, однако это скорее исключение, подтверждающее правило.). Следуя этой логике, можно сказать, что разделение режимов на принудительные и вспомогательные условно, врач должен воспринимать вес режимы ИВЛ как вспомогательные с разной «*степенью респираторной поддержки*». (Термин «*степень респираторной поддержки*» введен автором и не является общепринятым. Однако подобное понятие выбора необходимо при обсуждении требуемого пациенту режима ИВЛ).

Строго говоря, единственным полностью принудительным, не адаптирующимся к запросам больного, режимом является CMV с выключенным триггером. Данный режим - единственный для известных аппаратов серии «РО», «Фаза», но он применим только у полностью пассивного пациента, например, при проведении анестезии.

2. Вторым принципиальным моментом является осмысление того, что современная искусственная вентиляция легких перестает играть только протезирующую роль, т.е. замещать нарушенную функцию внешнего дыхания пациента на время восстановления, но оказывает также прямой лечебный эффект! Например, в начальной стадии РДСВ искусственная вентиляция с постоянным положительным давлением вовлекает в газообмен дополнительные альвеолы, препятствует развитию ателектазов. Именно поэтому имеет право на существование и все чаще применяется термин «Респираторная терапия».

Параметры дыхания пациента, их значение для подбора оптимального режима ИВЛ и диагностики состояния респираторной системы

Если раньше такие параметры дыхания, как частота, минутный объем, дыхательный объем, рассматривались исключительно как устанавливаемые на венти-

ляторе и навязываемые пациенту, то и настоящее время, учитывая все возрастающие возможности респираторов по мониторингу, при вспомогательных и спонтанных режимах вентиляции параметры дыхания все чаще приобретают диагностическое значение.

Минутный объем дыхания (МОД) (Minute Volume) - объем газовой смеси, поступивший в легкие при вдохах и удаленный при выдохах и течение минуты.

МОД является наиболее важным параметром дыхания. Как известно, организм регулирует МОД в зависимости от продукции углекислоты, следовательно, этот параметр, будучи измерен при самостоятельном дыхании пациента, косвенно отражает интенсивность метаболизма организма в целом. Обычными (нормальными) значениями МОД в покое можно считать 5-10 л/мин (10-12 мл/кг), однако, нельзя забывать о том, что при патологических состояниях (шок, лихорадка) потребление O_2 , и продукция CO_2 увеличиваются и, следовательно, необходимый МОД может возрасти до 13—16 л/мин. Адекватность МОД как при спонтанном дыхании, так и при принудительной аппаратной вентиляции можно оценить по $PaCO_2$ (35-44 mmHg).

Дыхательный объем (ДО) («tidal volume»-TV) - объем газовой смеси, поступивший в легкие во время одиночного вдоха и удаленный во время выдоха (Следует обратить внимание, что вдыхаемый объем не всегда равен выдыхаемому. В некоторых случаях часть вдыхаемого воздуха может задерживаться в альвеолах начало формирования воздушной ловушки). Мониторы респираторов в качестве Tidal volume обычно изменяют выдыхаемый объем газа). При спонтанном дыхании этот параметр отражает физические возможности пациента для реализации акта вдоха. Снижение этого показателя ниже нормы (500-300 мл) свидетельствует об ослабленности больного или несоответствии его физических сил работе, требуемой для вдоха, например, при снижении растяжимости легких. Эти ситуации требуют увеличения "механической респираторной поддержки" с помощью вентилятора. Наоборот, дыхательный объем у больного на вспомогательной вентиляции выше 900-1000 мл свидетельствует об избыточной респираторной поддержке.

Частота дыхания (ЧД) ("frequency" - F) - число циклов вдох/выдох в течение минуты. Очевидно - $МОД = ДО \times ЧД$. При нормальных значениях МОД ($PaCO_2$ - 35-44 мм Hg) частота самостоятельного или вспомогательного дыхания, равно как и дыхательный объем, отражает физические возможности пациента - высокая ЧД (26-28 в 1 мин и более) свидетельствует о недостаточных физических возможностях больного, низкая (менее 10 и 1 мин) - говорит об избыточной респираторной поддержке.

Давление в дыхательных путях ("airway pressure" - P) - традиционно измеряется в сантиметрах водного столба или миллибарах (1 см H_2O — 1 mBar). За ноль принимается атмосферное давление. Во время самостоятельного дыхания здорового человека давление колеблется около нуля - оно отрицательно (до -1—2 см H_2O) при вдохе и положительно (+1- +2 см H_2O) при выдохе. При ИВЛ наблюдается обратная картина - вдох осуществляется за счет положительного давления в дыхательных путях, создаваемого респиратором (в диапазоне +5 — +30 см H_2O), выдох пассивный, за счет эластичных свойств легких и грудной клетки, при этом давление в дыхательных путях уменьшается до атмосферного. Давление в дыхательных путях является очень важным показателем при проведении искусственной вентиляции, поскольку оно является наиболее серьезным фактором, повреждающим бронхиальное дерево и альвеолы. При обсуждении различных режимов ИВЛ детально анализируется давление в дыхательных путях в разные фа-

зий поток в начале вдоха, гарантируя при этом, что дыхательный объем будет не ниже требуемого. Несмотря на свое название - Volume assured *pressure support*— VAPS является принудительным режимом — может использоваться у пассивного пациента - при отсутствии самостоятельных дыхательных попыток аппарат может инициировать механические вдохи с заданной частотой, дыхательным объемом и потоком, что будет выглядеть как принудительная вентиляция «по объему». Таким образом, VAPS является универсальным режимом, автоматически подстраивающимся под нужды пациента. При адекватно подобранных параметрах он может быть использован как у «пассивного пациента», так и у больного в ясном сознании. Однако «адекватный подбор параметров», в частности - величину поддерживающего потока, определяющую в этом режиме момент включения принудительной составляющей дыхательного цикла, можно подобрать только с использованием графического монитора. Необходимо также акцентировать внимание на том, что в режиме VAPS пиковое давление в дыхательных путях не ограничено, как при Pressure support, во время принудительной составляющей давление может подниматься значительно выше установленного уровня.

Глава 6. Клинический пример использования графического мониторинга для оценки адекватности ИВЛ

Сегодня практически все современные респираторы могут быть оборудованы графическими мониторами. С их помощью можно в реальном времени наблюдать описанные дыхательные кривые, что безусловно способствует более глубокому пониманию происходящих процессов. Выше мы частично коснулись использования графического мониторинга для оптимизации параметров ИВЛ и выявлению угрожающих проблем. Безусловно, данная тема требует детального рассмотрения. Приведем, однако, лишь один пример использования **графического** мониторинга в реальной **клинической** ситуации.

Больная П. 15 лет, вес 50 кг, переведена в ОИТ НИИ Склифосовского из ЦРБ, где находилась 7 суток с диагнозом ЧМТ, ушиб головного мозга. За несколько часов до транспортировки пациентке произведена трахеостомия. В нашем отделении больной продолжена ИВЛ через трахеостому в режиме Volume control TV- 800 ml, f- 16 p/min, респиратором Bird 8400Sti. Минутный объем дыхания соответственно — 12.8 л. Однако оптимизировать ИВЛ, используя описанные параметры не удавалось — больная «боролась» с аппаратом. Физикальными методами проблему выявить не удавалось - аускультативно дыхание проводилось равномерно во все отделы легких, дыхание везикулярное, хрипов не выслушивалось. При саниации бронхиального дерева через трахеостомическую трубку отделялось небольшое количество слизистой мокроты. Безусловно, можно было последовать логике — «больной не синхронен с аппаратом!», ввести седативные препараты и таким образом «оптимизировать» ИВЛ. Однако решено было более детально изучить проблему. К респиратору присоединен графический монитор:

тельного на вспомогательное дыхание снижения минутного объема обычно не наблюдается. Скорее наблюдается его повышение за счет увеличивающейся работы дыхательных мышц. Снижение же МОД является признаком декомпенсации и, вероятно требует, принятия решения не автоматикой, а врачом.

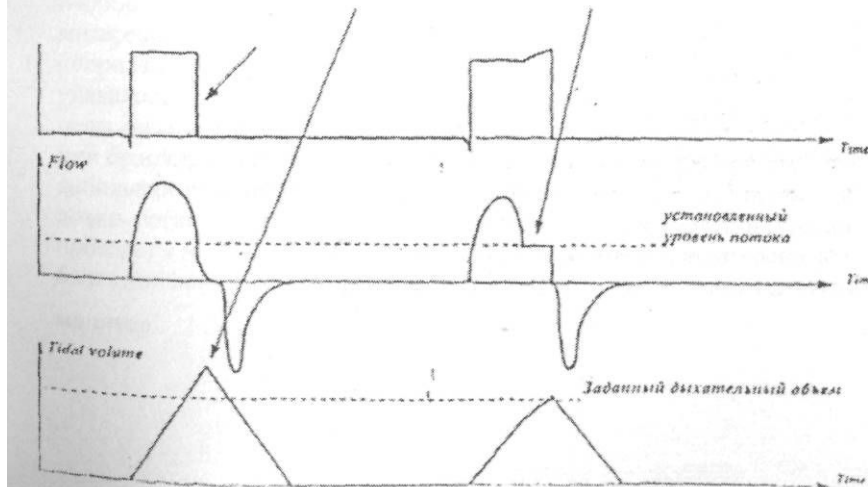
VAPS—volume assured pressure support —вентиляция с поддержкой давлением с гарантированным, дыхательным объемом

Режим VAPS - разработка фирмы Bird для респиратора Bird 8400sti-особым образом формирует как дыхательный цикл, так и ритм вентиляции, следовательно, может быть описан как самостоятельный метод вентиляции. Как следует из названия, данный режим является развитием режима Pressure support. Учитывая, что при PSV не исключено опасное снижение дыхательного объема и развитие гиповентиляции, данный режим предполагает подачу дополнительного потока больному в конце цикла PSV в случае, если реальный дыхательный объем, полученный пациентом ниже установленного уровня. Врач задает дыхательный объем, поток на вдохе и частоту дыхания. В ответ на срабатывание; триггера респиратор развивает давление поддержки. При снижении потока до заданного уровня аппарат измеряет полученный пациентом объем. Если последний меньше установленного - респиратор продолжает вдох с постоянным заданным потоком до достижения установленного объема.

Формирование дыхательного цикла в режиме (метод) VAPS

Рис.24 Заданный дыхательный объем достигнут цикл как pressure support

Дополнительный постоянный поток, включаемый до достижения требуемого дыхательного объема



Режим VAPS может быть очень полезен при начале ИВЛ у больных, перенесших гипоксию и требующих, с одной стороны, полного замещения функции внешнего дыхания для предоставления отдыха респираторной системе, с другой точного подбора скорости потока и дыхательного объема. Режим VAPS позволяет больному самостоятельно (с поддержкой давлением) развить требуемый высо-

зы дыхательного цикла. Необходимо также сразу обратить внимание на то, что измеряемое аппаратом давление в дыхательных путях (т.е. в контуре аппарата, трахее и крупных бронхах) может очень сильно отличаться от давления в альвеолах, например, при нарушенной проходимости мелких бронхов

Поток, в дыхательных путях (airway flow) - объемная скорость прохождения газовой смеси по дыхательным путям. Измеряется в литрах в минуту (л/мин). Реально измеряется и оценивается поток в конечных отделах дыхательного контура аппарата, что соответствует потоку в трахее пациента. Учитывая, что поток газа на вдохе и на выдохе имеет разное направление, условно принято поток на вдохе (inspiratory flow) считать положительным, а поток, на выдохе (expiratory flow) считать отрицательным

Поток в дыхательных путях также является чрезвычайно важным показателем респираторной механики. Так как *поток* — это *скорость* движения газа по трубам трахеобронхиального дерева, логично предположить, что он будет зависеть от состояния этих труб. Нормальные показатели максимального (пикового) потока на вдохе 50-70 л/мин, при нарушении бронхиальной проходимости (например, при бронхиальной астме) он может снижаться до 20-30 л/мин, при одышке - возрастать до 90-110 л/мин.

Особенности современных аппаратов ИВЛ, подход к детальному описанию методов и режимов

Современные аппараты искусственной вентиляции легких отличаются ориентацией на вспомогательные режимы вентиляции, наличием микропроцессорного управления всеми параметрами вентилятора, расширенными возможностями мониторинга параметров респираторной механики пациента, а также развитой системой тревог (alarm) для отслеживания опасных отклонений. Таким образом, эти машины являются великолепными средствами для поддержания дыхательной функции пациента в течение неопределенно долгого времени, однако в неквалифицированных руках представляют также и серьезную опасность, т.к. нередко могут самостоятельно и «непредсказуемо» изменять заданные оператором параметры в опасную сторону. В связи с этим представляется необходимым детально разобрать принципы работы современных респираторов и реализуемые ими режимы

К сожалению, даже в англоязычной литературе и среди производителей дыхательной аппаратуры нет терминологического единства в названии режимов вентиляции. «Прозрачность» органов управления дыхательных аппаратов очень часто оставляет желать лучшего. Нередко, модернизируя аппарат и добавляя новые возможности, производители забывают о пользовательском интерфейсе, и эти дополнительные возможности включаются буквально с помощью отвертки! Поэтому если вы имеете некоторый опыт работы с конкретным дыхательным аппаратом, но не до конца понимаете, что и когда он делает, предлагается на время забыть все, что на нем и о нем

написано и последовать логике автора.. В основу последовательности описания методов и режимов вентиляции положено понятие «степень респираторной поддержки». Степень респираторной поддержки — термин, введенный автором и отражающий свободу, предоставляемую респиратором пациенту в большой или меньшей мере самостоятельно регулировать параметры дыхания. На одном полюсе этого понятия - аппараты серии «PO» «Фаза», полностью навязывающие пациенту установленные параметры, абсолютно игнорирующие какие то ни было попытки самостоятельного

дыхания пациента и требующие глубокой седации/больного (идеально - длительные миорелаксанты), на другом полюсе - пациент на самостоятельном дыхании (хорошо, конечно, если оно адекватное - лучше быть здоровым и богатым, чем...). Между этими полюсами - весь спектр вспомогательных методов и режимов искусственной вентиляции, предоставляющих пациенту в *меньшей* или *большей степени* самостоятельно регулировать параметры дыхания.

Таким образом рассмотрим методы и режимы вентиляции от более жестких с высокой степенью респираторной поддержки к более мягким с меньшей степенью респираторной поддержки).

Дыхание пациента состоит из последовательности циклов вдох/выдох, т.е. из *дыхательных циклов*. Следующие друг за другом дыхательные циклы могут иметь совершенно разные параметры, поэтому вначале рассмотрим особенности формирования отдельных дыхательных циклов при различных методах вентиляции, а затем рассмотрим способы формирования *ритма дыхания* как последовательности дыхательных циклов того или иного вида.

Глава 3. Формирование дыхательного цикла

Дыхательный цикл

Определим *дыхательный цикл (ДЦ)* как *промежуток, времени, между двумя последовательными вдохами*. Для детального анализа дыхательных кривых выделим следующие фазы дыхательного цикла:

Вдох - первая фаза дыхательного цикла, характеризуется положительным потоком в дыхательных путях, воздух поступает в легкие, дыхательный объем увеличивается. Вдох заканчивается при уменьшении положительного потока до нуля.

Инспираторная пауза (плато) - вторая фаза дыхательного цикла, присутствует только при принудительных режимах искусственной вентиляции, характеризуется периодом нулевого потока между концом вдоха и началом выдоха. Объем воздуха в легких во время инспираторной паузы не меняется.

Выдох - третья фаза дыхательного цикла, характеризуется отрицательным потоком в дыхательных путях, при этом воздух выходит из легких, дыхательный объем уменьшается. Конец выдоха характеризуется прекращением отрицательного потока. Дыхательный объем при этом в норме должен уменьшиться до нуля.

Период покоя - четвертая фаза дыхательного цикла, характеризующаяся отсутствием потока в дыхательных путях между концом выдоха и началом вдоха следующего дыхательного цикла. Продолжительность этого периода очень важна для определения резервов по увеличению частоты дыхания или длительности вдоха.

Для детального анализа события, происходящих во время искусственной вентиляции легких и при спонтанном дыхании используются графические кривые, отражающие изменение основных параметров в течение дыхательного цикла. Современные респираторы оснащены графическими мониторами, отражающими дыхательные кривые в реальном времени и в значительной степени облегчающими понимание происходящих процессов. Поэтому рассмотрение методов и режимов вентиляции будет сопровождаться их графическим представлением в виде стандартных дыхательных кривых. Большинство графических мониторов позволяют отображать следующие зависимости: *поток в дыхательных путях/время, дыхательный объем/время, давление в дыхательных путях/время*.

достижение заданного дыхательного объема (Volume orientated ventilation — термин фирмы Drager список подобных режимов в респираторе Evita 4 пополнился опцией «Auto Flow»). При переходных значениях установленных параметров PVL позволяет устранить пики давления, связанные с сопротивлением дыхательных путей потока (airway resistance) и приближается по форме кривых к Pressure control ventilation с уменьшающимся потоком (deceleration flow). Отдельно необходимо заметить, что PLV никак не поможет уменьшить избыточное давление, связанное со сниженной податливостью легочной ткани. Оно зависит только от поступившего в легкие дыхательного объема! Режим Pressure limited ventilation — единственный принудительный метод вентиляции для респираторов серии Drager «Evita» Использование этого режима практически всеми врачами сопряжено с определенными сложностями — довольно трудно определить время вдоха — его аппарат рассчитывает автоматически при каждом дыхательном цикле. Детально разобраться как образуются и как именно реализует аппарат конкретный дыхательный цикл, можно только с помощью графического монитора. Однако этот режим интересен тем, что устраняет четкую границу между вентиляцией "по объему" и "по давлению", оказывается возможно их объединение.

В заключение опишем три режима, созданные для обеспечения безопасности пациента при переводе с принудительного на самостоятельное или вспомогательное дыхание. Они не являются самостоятельными, т.к. включают элементы уже описанных основных режимов. Эти режимы интересны тем, что демонстрируют попытку доверить решение вопроса об изменении параметров вентиляции респиратору.

Apnoe Ventilation - вентиляция апноэ

Очень полезная опция, реализованная на многих современных респираторах. Иницируется во время вспомогательных режимов и спонтанной вентиляции. Оператор задает промежуток времени (20-60 сек), в течение которого вентилятор ожидает вдох пациента. Если дыхательной попытки больного не последовало, респиратор регистрирует апноэ и автоматически включает принудительный режим вентиляции с предустановленными параметрами. Одновременно подается звуковой сигнал тревоги, предлагающий врачу принять окончательное решение об изменении режима вентиляции. Очевидно, что данная опция значительно, повышает безопасность пациента при переводе с принудительной на вспомогательную вентиляцию.

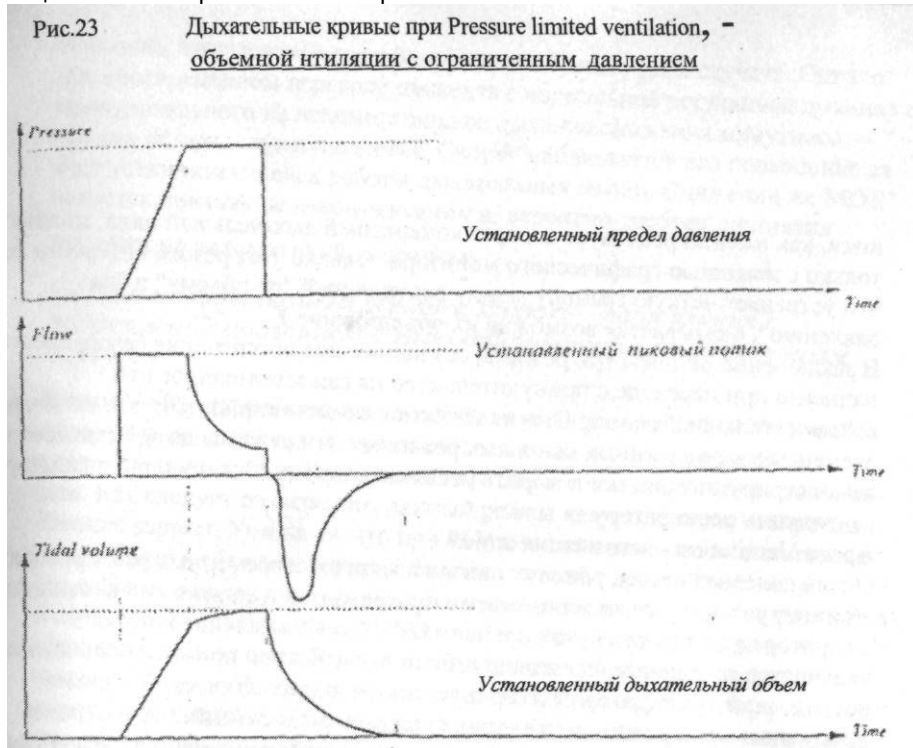
Minimum minute volume (MMV) — вентиляция с заданным минимальным минутным объемом

MMV - еще одна попытка обезопасить пациента при переводе с контрольных на вспомогательные режимы вентиляции. В этом режиме вентилятор мониторирует минутный объем пациента, находящегося на самостоятельном или вспомогательном дыхании. В случае снижения минутного объема ниже установленного уровня аппарат автоматически включает контрольный режим вентиляции с предустановленными параметрами до достижения необходимого минутного объема, затем вновь предоставляет больному возможность реализовать требуемый МОД самостоятельно. Критерием прекращения принудительного дыхания служит регистрация самостоятельных дыхательных попыток пациента на фоне достижения заданного минимального МОД.

Вероятно, этот режим может быть полезен в некоторых случаях. Однако при своевременном переводе пациента с нормальной регуляцией дыхания с принуди-

Метод Pressure limited ventilation (PLV) - (объемная) вентиляция с ограничением давления

Метод Pressure limited ventilation - разработка фирмы Drager, реализован в аппаратах серии Evita. Это, пожалуй, наиболее сложный для понимания и практического использования метод формирования дыхательного цикла, сочетающий в себе элементы Volume control и Pressure control ventilation. Он может быть рассмотрен как Volume control ventilation с ограниченным давлением и как Pressure control ventilation с ограниченным потоком. Оператор задает на панели аппарата дыхательный объем, пико-ый поток, максимальное давление. При инициации дыхательного цикла (и режиме IPPV (CMV) или SIMV) респиратор подает в дыхательные пути больного заданный **пиковый** поток, как при VCV с постоянным потоком. Однако при достижении предела допустимого давления респиратор снижает поток до уровня, не вызывающего дальнейшего повышения давления. Поток подается до достижения заданного дыхательного объема. Если респираторная система пациента не позволяет реализовать заданный дыхательный объем вследствие недостаточной растяжимости легких, респиратор прекращает вдох и извещает об этом врача сигналом тревоги.



Нетрудно представить, что при установленном заведомо высоком пределе давления Pressure limited ventilation будет выглядеть как Volume control ventilation, а при заведомо высоком пиковом потоке и низком установленном давлении - приближаться к «классической» Pressure control ventilation, однако с ориентацией на

Принудительные методы вентиляции

Как уже отмечалось, все методы и режимы современной ИВЛ можно считать вспомогательными и том смысле, что все они в большей меньшей степени подстраиваются под запросы пациента (Исключение - «чистый» режим CMV - volume control с выключенным триггером. Этот режим полностью соответствует единственному режиму аппарата PO-6 и имеет очень ограниченные показания к применению). Однако одни методы вентиляции могут применяться у пациента без самостоятельных попыток вдоха (passive patient, например при применении миорелаксантов, и в этом смысле традиционно называются «**принудительными**» (*mandatory*), другие обязательно требуют наличия у пациента самостоятельных дыхательных попыток - «**вспомогательные**» режимы или режимы «поддержки» (*support*)).

Однако, и те и другие можно условно расположить в один ряд, руководствуясь понятием «степень респираторной поддержки». Для этого при рассмотрении того или иного метода мы будем обращать особое внимание на то, какие параметры дыхательного цикла управляются респиратором, а какие формируются респираторной системой пациента.

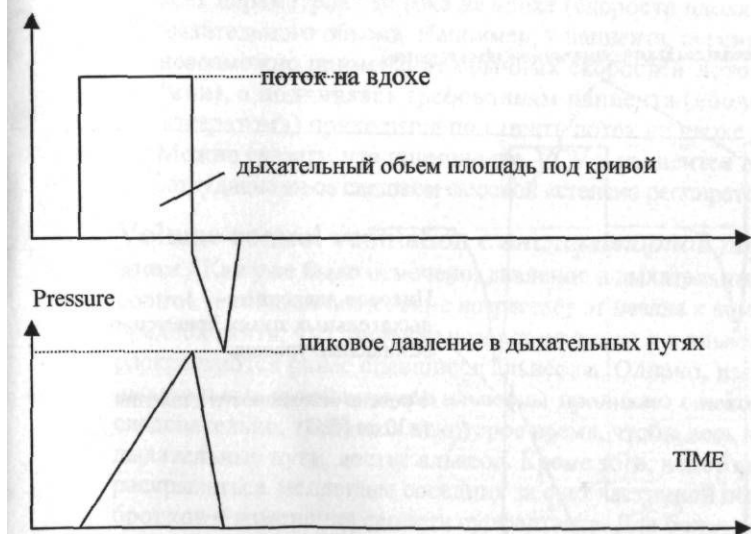
К *принудительным (mandatory)* относятся два метода (*modes*) (lume control и Pressure control ventilation описываются в литературе как два «modes» — «способа», «метода» вентиляции. Вероятно, это имеет исторические корни - Pressure control — вентиляция «с управляемым давлением» появилась позже традиционной «объемной» вентиляции и была серьезным шагом вперед в лечении РДСВ. Однако в настоящее время представляется не слишком целесообразным ставить эти два вида вентиляции на разные полюса, тем более что уже реализованы смешанные режимы, при которых респиратор выдерживает как установленный объем, так и заданный предел давления - «Pressure limited ventilation— PLV. Под термином «метод вентиляции» предлагается понимать принцип формирования дыхательного цикла любого вида).

Формирования дыхательного цикла - «вентиляция с управляемым объемом» - volume control ventilation и «вентиляция с управляемым давлением» (pressure control ventilation) (В главе 6 будут рассмотрены дополнительные методы вентиляции, которые можно отнести к принудительным - PLV, VAPS, BiPAP (PCV).)

Таким образом определяется, какой параметр дыхательного цикла считается наиболее принципиальным и регулируется респиратором во время вдоха.

Зависимости поток/время и давление/время в течение принудительного дыхательного цикла при методе Volume control ventilation

(Параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом)



Варианты первода-«Объемная вентиляция», «вентиляция по-объему»

Метод вентиляции - Volume control ventilation — вентиляция с управляемым объемом

Формирование дыхательного цикла при Volume control ventilation

В простейшем случае при формировании дыхательного цикла Volume control в фазу вдоха в течение *Времени вдоха (Inspiration Time)* выдерживается ПОСТОЯННЫЙ Поток на вдохе (*Inspiratory Flow*), таким образом формируется Дыхательный объем (*Tidal Volume*), т.е. реализуется (формула:

Дыхательный объем = поток, на вдохе \times время вдоха

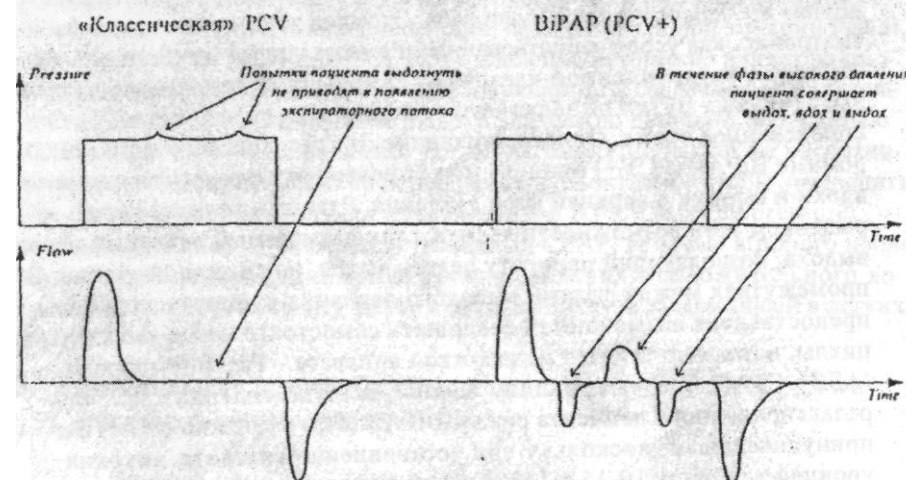
Эти три параметра жестко связаны между собой, поэтому на аппарате в зависимости от конструктивных особенностей могут устанавливаться любые ДВА из трех параметров: поток + ДО (Bird), поток + время вдоха (Newport). Объем + время вдоха (Veolar - в данном аппарате время вдоха задается косвенно через частоту дыхания и соотношение вдоха/выдоха). Основная цель, достигаемая при данном методе - получение пациентом гарантированного дыхательного объема, что в сочетании с заданной частотой дыхания обеспечивает установленный оператором минутный объем дыхания. Однако давление в дыхательных путях при данном методе аппаратом не регулируется и полностью зависит от состояния респираторной системы пациента.

Давление в дыхательных путях и фазу вдоха при *Уоллс (onlyol -*

шать самостоятельные вдохи и выдохи в верхней фазе давления. Главным техническим решением этой возможности является так называемый активный клапан выдоха, позволяющий пациенту делать выдох, не снижая давления. В промежутках между фазами высокого давления пациенту также предоставлена возможность совершать самостоятельные дыхательные циклы, возможно также с поддержкой аппарата — Pressure support (ASB), CPAP. Следуя принципу возможности вентиляции релаксированного пациента режим BiPAP (PCV+) можно отнести к принудительным, поскольку при установленной частоте высоких уровней давления 10-15 в 1 мин реализуется классическая Pressure control ventilation режиме SIMV. Но основное предназначение режима BiPAP - ведение пациентов с высоким уровнем самостоятельной дыхательной активности, требующих применения высоких уровней CPAP, однако непрерывное удержание высокого уровня постоянного положительного давления сопряжено с риском гемодинамических осложнений при значительной гиперкапнии. В этом смысле режим BiPAP может быть рассмотрен как усовершенствованный APRV (airway pressure release ventilation). В отличие от последнего, режим BiPAP позволяет применять Pressure support ventilation в промежутках между фазами высокого давления (Только респираторы «Evita-4» и «Nellcor Puritan Bennett 840»). При продолжительной фазе высокого давления режим BiPAP может быть использован в случаях, требующих

BiPAP особым образом формирует как дыхательный цикл, так и ритм вентиляции по типу SIMV. Он может быть описан как метод и как режим вентиляции. Для идентификации используем слово «режим» как более общее понятие.

Рис.22 Сравнение дыхательных кривых при Pressure control ventilation и Bifasic positive airway pressure -BiPAP (PCV+)



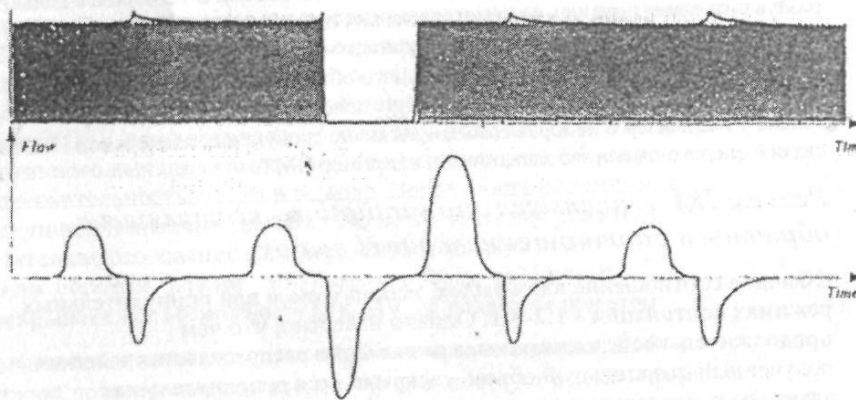
Возможность делать хотя бы неполноценный выдох по время фазы высокого давления позволяет увеличивать продолжительность последней (до 10 сек).

Безусловно режим **BiPAP (PCV+)** является более комфортным и безопасным для пациента, чем другие принудительные методы вентиляции.

тельных путей

Как обсуждалось, параметр РЕЕР/CPAP может быть чрезвычайно полезен при лечении некоторых заболеваний легких, и в первую очередь — респираторного дистресс-синдрома взрослых. Необходимый уровень постоянного положительного давления, применяемый при лечении РДСВ, колеблется от 10 до 20 см H₂O. Такое давление неизбежно влияет на гемодинамику пациента, особенно при гиповолемии и сердечной недостаточности. Кроме того, затруднение выдоха неизбежно приводит к снижению элиминации CO₂ и гиперкапнии, что неблагоприятно влияет на кислотно-щелочное состояние и тяжело переносится субъективно. Чтобы уменьшить эти негативные явления был создан режим APRV (airway pressure release ventilation) - усовершенствованный CPAP, во время которого происходит периодическое снижение уровня давления с положительного до нуля с целью дать пациенту возможность выдохнуть задержанный в легких воздух.

Дыхательные кривые при вентиляции в режиме APRV - airway pressure release ventilation
Рис.21



Данный режим реализован на небольшом количестве современных респираторов, показания к его применению те же, что и для режима CPAP

Режим BiPAP-BIFASICpositive airway pressure -вентиляция с двумя уровнями сдвумя двум уровнями постоянного положительного давления

Режим (BiPAP особым образом формирует как дыхательный цикл, так и ритм вентиляции по типу SIMV. Он может быть описан как метод и как режим вентиляции. Для идентификации используем слово «режим» как более общее понятие.) **BiPAP (синоним PCV+)** - реализован в респираторах Drager «Evita» и «Nellcor Puritan Bennett 840». Этот вид вентиляции можно рассматривать как усовершенствованный Pressure control ventilation (Режиму BiPAP соответствует синоним - PCV+)

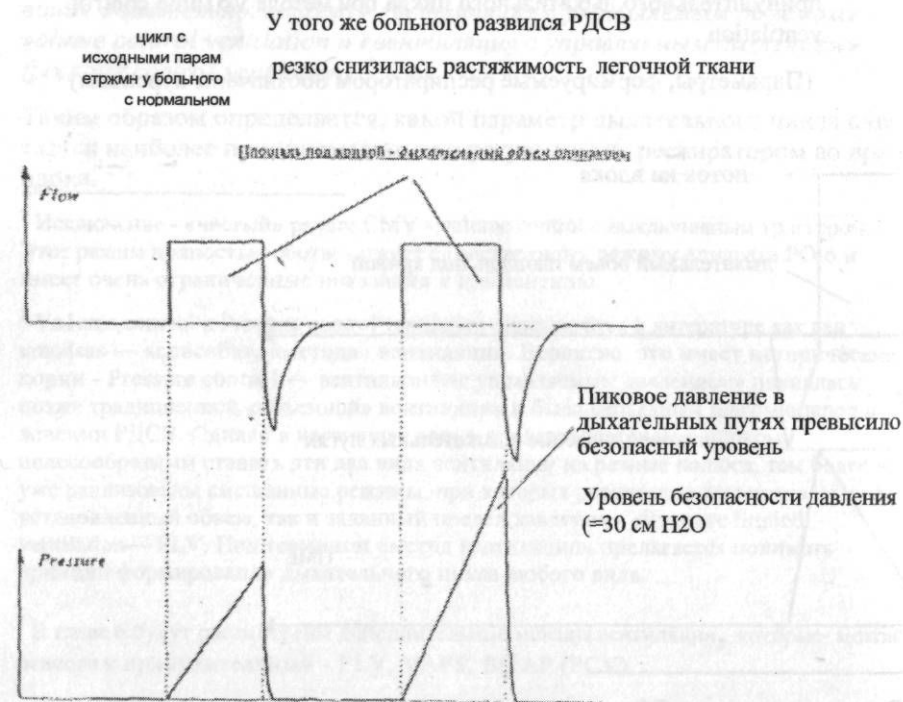
Аппарат с установленной частотой (1) повышает давление в дыхательных путях до заданного уровня и выдерживает его определенное время. Однако, в отличие от классического метода PCV в режиме BiPAP (PCV+) пациент может совер-

дыхательном цикле не постоянно, а постепенно возрастает от начала к концу вдоха. Наиболее важным параметром в смысле риска баротравмы (разрыва) легких является максимальное - *пиковое* давление в дыхательных путях.

Вспоминая надуваемые в детстве резиновые шарики, можно понять, что максимальное (пиковое) давление зависит от двух причин - объема вднутого воздуха и растяжимости резины (бывает более и менее гонкая). Т.е. в нашем случае пиковое давление зависит от дыхательного объема и растяжимости (*compliance* — податливость) легочной ткани.

Учитывая то, что уменьшение дыхательного объема часто лимитировано требованиями к объему минутной вентиляции, рассмотрим изменения пикового давления при одинаковом заданном дыхательном объеме, но с изменившейся растяжимостью легочной ткани (например, у пациента развился РДСВ).

Рис.2 Зависимости *поток/время* и *давление/время* при циклах Volume control с одинаковым заданным дыхательным объемом:



Таким образом, можно сформулировать основные особенности метода Volume control ventilation (VCV) - вентиляции с управляемым объемом:

задается аппаратно и точно выдерживается дыхательный объем. При установленной частоте принудительных дыхательных циклов гарантирован установленный минутный объем дыхания.

давление в дыхательных путях не постоянно, а зависит от состояния респираторной системы пациента, в первую очередь - от податливости (комплаенса) легочной ткани. Поэтому при сниженной податливости легочной ткани при некото-

рых патологических состояниях (РДСВ, пневмосклероз) возможно повышение пикового давления выше безопасного (около 30 см H₂O) уровня и баротравма (разрыв) легких.

Метод Volume control ventilation (вентиляция с управляемым объемом) является наиболее жестким. «Степень респираторной поддержки» при VCV максимальна. Пациенту не предоставляется никакой свободы по регулированию параметров дыхательного цикла. Следовательно, этот метод должен применяться преимущественно у пациентов с нарушенной регуляцией дыхания - (глубокая кома, сопровождающаяся гипо- или гипервентиляцией, медикаментозная депрессия дыхательного центра, анестезия с применением миорелаксантов). Применение Volume control ventilation у пациентов в ясном сознании и принципе возможно, но требует очень точного подбора всех параметров - потока на вдохе (скорости вдоха), времени вдоха, дыхательного объема. Например, у пациента, перенесшего гипоксию, невозможно применение обычных скоростей потока вдоха (60-70 л /мин), а подчиняясь требованиям пациента («больной борется с аппаратом») приходится повышать поток на вдохе до 90-100 л/мин. Можно сказать, что применение VCV у пациентов в ясном сознании затруднено из-за слишком высокой «степени респираторной поддержки».

Volume control ventilation с инспираторной паузой (плато на вдохе.). Как уже было отмечено, давление в дыхательных путях при Volume control ventilation постепенно возрастает от начала к концу вдоха. Логично предположить, что давление возрастает также и в альвеолах, причем раскрываются ранее спавшиеся альвеолы. Однако, из-за сопротивления дыхательных путей воздух в альвеолы проникает с некоторым запозданием, следовательно, требуется некоторое время, чтобы весь воздух, попавший в дыхательные пути, достиг альвеол. Кроме того, некоторые альвеолы могут раскрываться медленнее соседних за счет частичной обтурации мелких бронхов и изменения свойств сурфактанта. Для более равномерного распределения воздуха в легких в дыхательный цикл может включаться инспираторная пауза - период, при котором вдох уже закончился - положительный поток вдоха уменьшился до нуля, клапан вдоха закрылся, но клапан выдоха еще некоторое время не открывается. За это время воздух распределяется равномерно между трахеобронхиальным деревом и альвеолами, раскрываются дополнительные альвеолы, давление в дыхательных путях и альвеолах уравнивается. Естественно, за счет перераспределения воздуха между дыхательными путями и дополнительно открывшимися альвеолами общее давление в респираторной системе несколько снижается — т.е. **давление во время инспираторной паузы ниже пикового давления в дыхательных путях** (в конце вдоха). NB Именно давление в конце инспираторной паузы наиболее точно отражает истинное давление в альвеолах.

Применение инспираторной паузы при Volume control ventilation способствует более полному вовлечению альвеол в газообмен без увеличения дыхательного объема, препятствует спадению альвеол и образованию ателектазов. Если респиратор позволяет измерять «давление на плато», можно более точно представить себе реальное давление в альвеолах на высоте вдоха и, следовательно, оценить реальный риск баротравмы легких.

ротьность образования «воздушной ловушки» значительно ниже. Поэтому режим SIMV значительно безопаснее для пациента чем (S)CMV. - Таким образом, режим SIMV практически полностью перекрывает все возможности (S)CMV, не подвергая при этом пациента дополнительному риску. Учитывая, что режим SIMV с частотой принудительных вдохов - О соответствует режиму Spont, можно сказать, что SIMV является наиболее универсальным режимом формирования ритма вентиляции, пригодным для использования как у полностью пассивных пациентов, так и у пациентов на спонтанном или вспомогательном дыхании. Постепенное уменьшение частоты принудительных вдохов SIMV и предоставление больному все большей свободы для самостоятельного дыхания является наиболее популярной тактикой тренировки больного и «отлучения» от респиратора.

Глава 5. Дополнительные методы и режимы вентиляции

В последние годы в связи со стремительным развитием микропроцессорной техники появились усовершенствованные методы и режимы вентиляции, более тонко адаптирующиеся к запросам пациента. Эти методы и режимы обозначены как дополнительные, поскольку включают элементы базовых, описанных выше. Кроме того, если основные режимы реализованы практически во всех современных респираторах, некоторые описанные далее режимы встречаются только на аппаратах определенных фирм.

Опция Sigh - Вдох

Sigh -дополнительный параметр, используемый во время принудительных режимов вентиляции (CMV, SIMV). Предполагает периодическое (раз в 2-5 мин) увеличение установленного дыхательного объема в 1.5-2 раза с целью раздувания невентилируемых участков легких и профилактики ателектазов. В современных респираторах эта опция применяется редко, поскольку неконтролируемое увеличение дыхательного объема значительно повышает риск баротравмы легких. Параметр Sigh целесообразно использовать только у пациентов с непораженными легкими, требующих длительной ИВЛ в связи с внелегочными заболеваниями, например ЧМТ.

Режим IRV—intensive ratio ventilation— вентиляция с обратным соотношением вдох/выдох

Обычное соотношение вдох/выдох, используемое при принудительных режимах вентиляции - 1:2-1:1. Однако известно, что чем продолжительнее вдох, тем более равномерно распределяется в легких полученный дыхательный объем, раскрываются дополнительные альвеолы и, следовательно, уменьшается шунтирование и улучшается оксигенация. У наиболее тяжелых больных с РДСВ рекомендуется использовать обратное соотношение вдох/выдох -до 3:1-4:1. Этот режим не является самостоятельным, а используется как вариант Volume control (CMV (SIMV) и Pressure control/CMV (SIMV). Применение intensive ratio ventilation сопряжено с значительными трудностями, требует графического мониторинга для контроля адекватности выдоха, а также значительной седации пациента.

Airway pressure release ventilation (APRV) - вентиляция с разгрузкой дыха-

Рис.19 Зависимость давление/время при вентиляции в режиме SIMV
Volume control

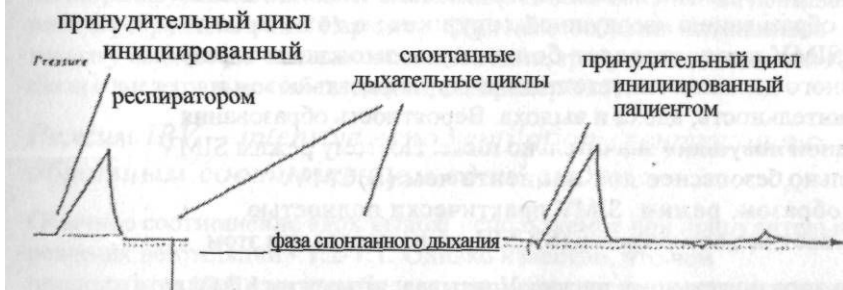
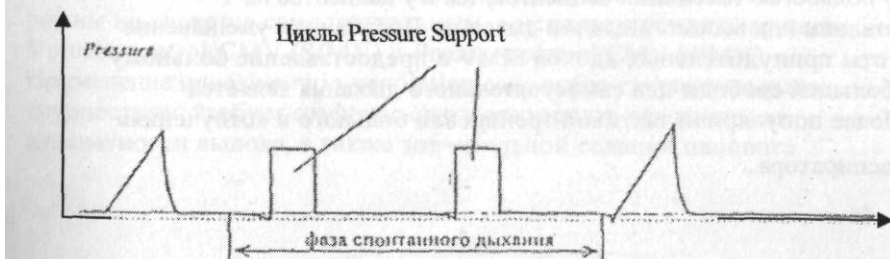


Рис.20 Зависимость давление/время при режиме
SIMV- Volume control + Pressure support



Особенности вентиляции при формировании дыхательного ритма в режиме SIMV: Ритм SIMV состоит из перемежающихся фаз принудительной и спонтанной вентиляции. -При отсутствии спонтанных дыхательных циклов минутный объем вентиляции формируется как произведение дыхательного объема принудительных дыхательных циклов и заданной частоты принудительных вдохов, таким образом гарантируется минимальный МОД. В этом случае режим SIMV может полностью соответствовать режиму CMV. -МОД может быть увеличен пациентом за счет спонтанных или вспомогательных дыхательных циклов в промежутках между принудительными вдохами. -При установке частоты принудительных дыхательных циклов равной нулю режим SIMV соответствует режиму Spont.

Сравнение режимов (s)cmv и simv

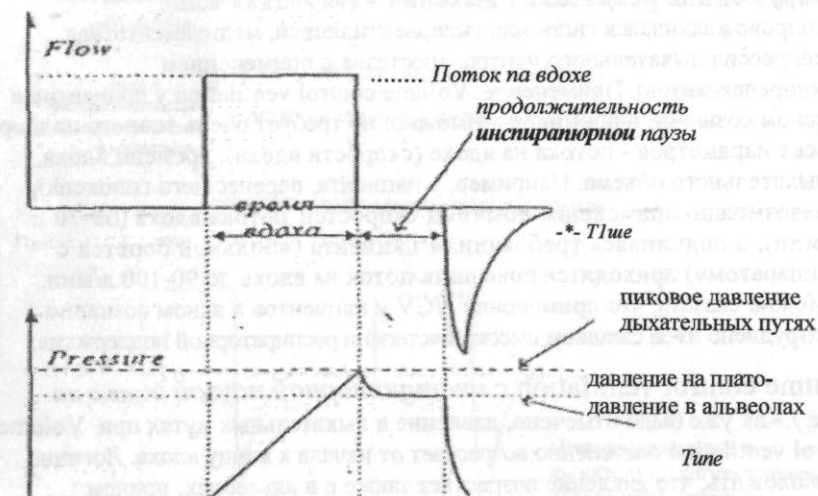
-при отсутствии самостоятельных инспираторных попыток пациента режимы CMV, (S) CMV (A/C, IPPV) и SIMV идентичны - в случае использования Volume control - метода гарантирует заданный врачом МОД и могут быть использованы для ведения полностью пассивных пациентов.

-при появлении у пациента самостоятельных дыхательных попыток в промежутках между принудительными вдохами режим (S)CMV увеличивает частоту принудительных вдохов, что приводит к сокращению времени на выдох, появлению неполноценного выдоха, образованию «воздушной ловушки»; в тоже время режим SIMV предоставляет больному возможность в фазу спонтанного дыхания самостоятельно регулировать объем и продолжительность, вдоха и выдоха. Ве-

Рис. 3 Зависимости поток/время и давление/время

в течение дыхательного цикла при методе Volume control ventilation с инспираторной паузой

(Параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом)



Volume control ventilation с переменным потоком, на входе. До сих пор мы рассматривали вентиляцию с управляемым объемом, формируемым за счет постоянного потока на входе. Однако, современные микропроцессорные технологии позволяют обеспечивать заданный дыхательный объем с непостоянным потоком в течение вдоха. Таким образом, предпринимаются попытки приблизить форму кривой потока вдоха к физиологической. Оператор задает лишь пиковый поток на входе, а аппарат автоматически рассчитывает и реализует заданную форму кривой. Встречаются дыхательные аппараты (Veolar), предлагающие до 6-7 различных форм потока.

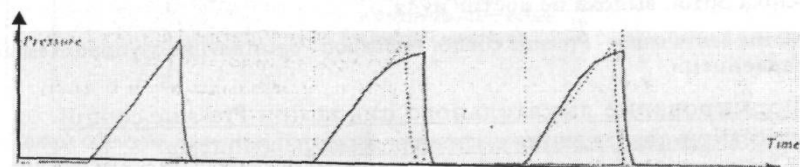
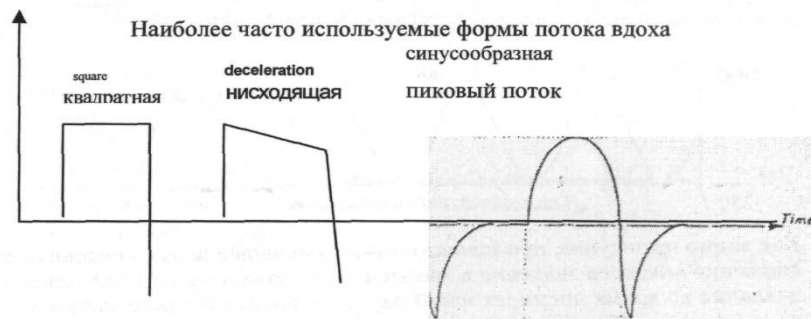


Рис.5 Сравнение постоянного и уменьшающегося потока при вентиляции с управляемым объемом (volume control ventilation)

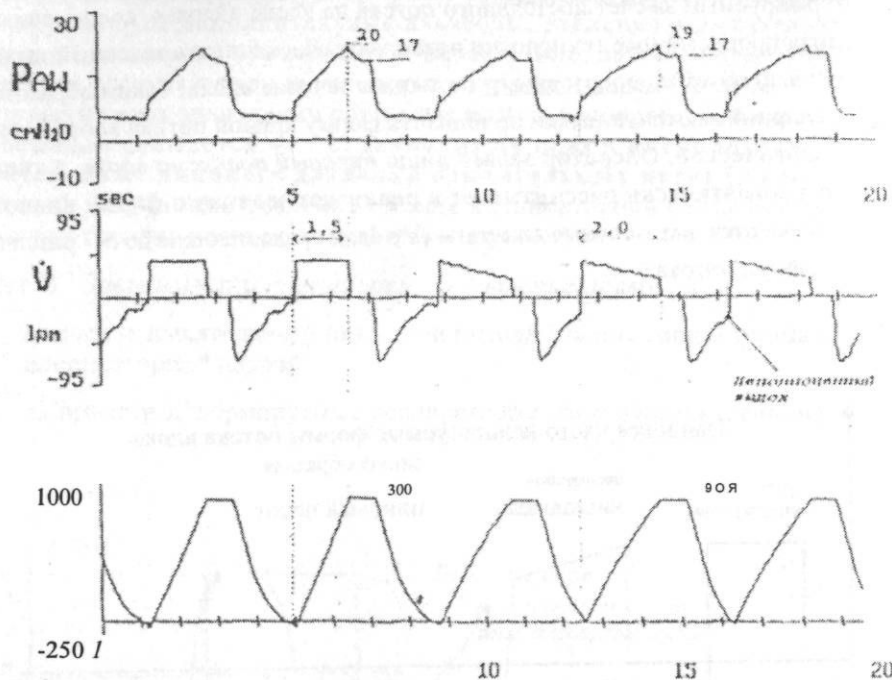


Рис. 17 Зависимость давление/время при вентиляции и режиме Spont+CPAP (параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом)

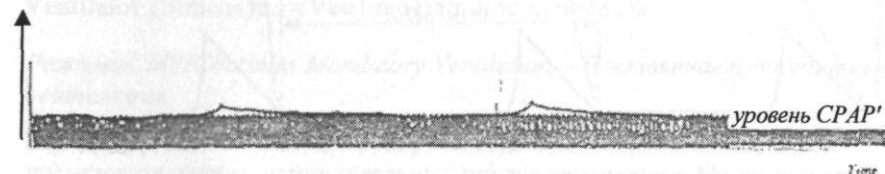
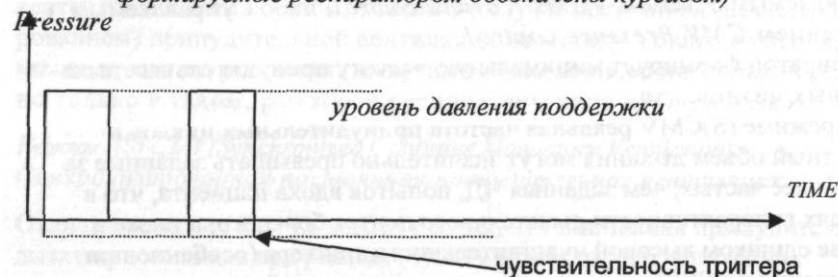


Рис. 18 Зависимость давление/время при вентиляции в режиме Spont + Pressure Support (параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом)



Особенности вентиляции при формировании ритма вентиляции в режиме Spont:

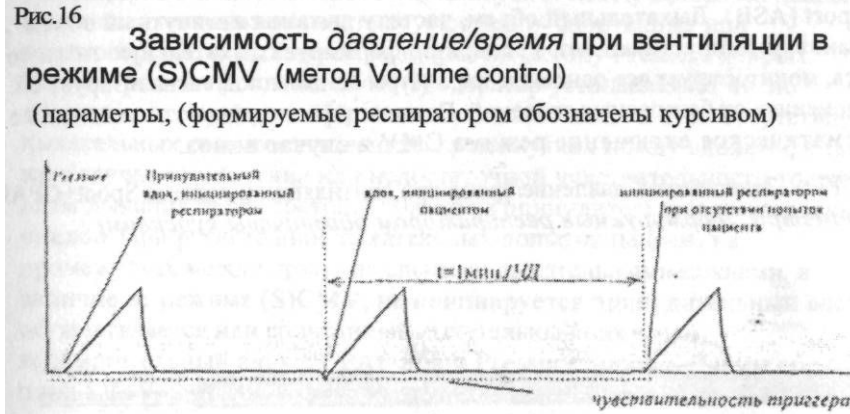
- ритм вентиляции состоит только из спонтанных или вспомогательных дыхательных циклов. дыхательный объем, время вдоха, частоту дыхания,
- минутный объем дыхания формирует пациент. Респиратор может оказывать помощь пациенту на вдохе при использовании одновременно с режимом Spont вспомогательных методов CPAP и/или Pressure support (ASB).

Режим SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) — Синхронизированная Перемежающаяся Принудительная вентиляция

Ритм вентиляции при данном режиме представляет собой последовательность принудительных циклов либо по методу либо Volume control, либо Pressure control, в промежутках между которыми пациенту предоставляется возможность осуществлять спонтанные или вспомогательные дыхательные циклы по методу Pressure support. Параметром *частота дыхания (f)* оператор устанавливает число обязательных принудительных дыхательных циклов. При отсутствии дыхательных попыток пациента в промежутках между вдохами, а так же в случае отключения или недостаточной чувствительности триггера ритм дыхания будет состоять только из принудительных дыхательных циклов. При регистрации дыхательных попыток пациента в промежутках между принудительными дыхательными циклами, в отличие от режима (S)CMV, не инициируется принудительный вдох, а осуществляется или спонтанный дыхательный цикл, или вспомогательный вдох с CPAP или/и Pressure Support. Таким образом, цикл SIMV состоит из фазы принудительного дыхательного цикла и фазы спонтанного дыхания.

кой чувствительности триггера (особенно при вентиляции с PEEP) может приводить к выраженной гипервентиляции, а также — баротравме вследствие неполноценного выдоха, -в случае выключения или уменьшения чувствительности триггера до величины, которую пациент не сможет преодолеть при попытке вдоха,

- респиратор не будет отвечать на дыхательные движения пациента, т.е. режим (S)CMV будет соответствовать режиму CMV. Примечание: Режиму (S)CMV во многих респираторах соответствует режим A/C (Assist/Control), на аппаратах «Dräger»- режим IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation). При выключенном триггере режимы A/C и IPPV соответствуют режиму CMV.



Режим Spont — спонтанная вентиляция

(На многих респираторах режим Spont в явном виде отсутствует. В этом случае ему соответствует режим SIMV с частотой принудительных вдохов - 0.)

В режиме спонтанной вентиляции больному предоставляется возможность осуществлять спонтанные дыхательные циклы, либо вспомогательные дыхательные циклы (в случае установленного CPAP или/i Pressnre Support (ASB). Дыхательный объем, частоту дыхания и минутный объем дыхания формирует пациент. Респиратор формирует дыхательную газовую смесь, мониторирует все основные параметры вентиляции, сигнализирует об отклонениях от безопасных значений. В некоторых моделях возможно также автоматическое включение режима CMV в случае апноэ.

Как видно из рисунка, при использовании уменьшающегося потока получено снижение пикового давления в дыхательных путях на 1 см H₂O, однако, давление во время экспираторной паузы (давление в альвеолах) осталось неизменным — 17 см H₂O. При этом требуемое для достижения того же дыхательного объема время вдоха увеличилось с 1.5 до 2 сек, что повлекло за собой возникновение неполноценного выдоха - и момент начала следующего вдоха поток выдоха не достиг нуля.

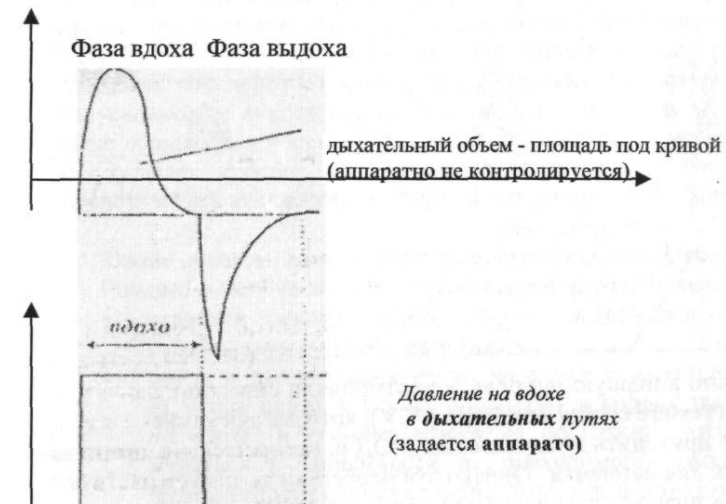
Метод вентиляции - Pressure control ventilation - «вентиляция с управляемым давлением»

Формирование дыхательного цикла при Pressure control ventilation - «вентиляция с управляемым давлением» (Встречающиеся варианты перевода - «вентиляция по давлению»)

При формировании дыхательного цикла Pressure control ventilation - «вентиляции с управляемым давлением» в фазу вдоха выдерживается заданное ПОСТОЯННОЕ Давление на входе (*Inspiration pressure*). Давление на входе удерживается на постоянном уровне в течение заданного *Времени вдоха (inspiration Time)*. Оператор устанавливает на панели аппарата *давление на входе и время одоха. Поток на входе и дыхательный объем не контролируется*. Подчиняясь состоянию респираторной системы пациента и интенсивности попытки самостоятельного вдоха (при ее наличии), поток быстро возрастает до максимального пикового значения в начале вдоха, затем постепенно к концу вдоха снижается до нуля. Как и Volume control, метод *Pressure control ventilation* является *принудительным*, т.е. может применяться у «пассивного» пациента, при отсутствии самостоятельных дыхательных попыток.

Рис 6. Зависимости поток/время и давление/время

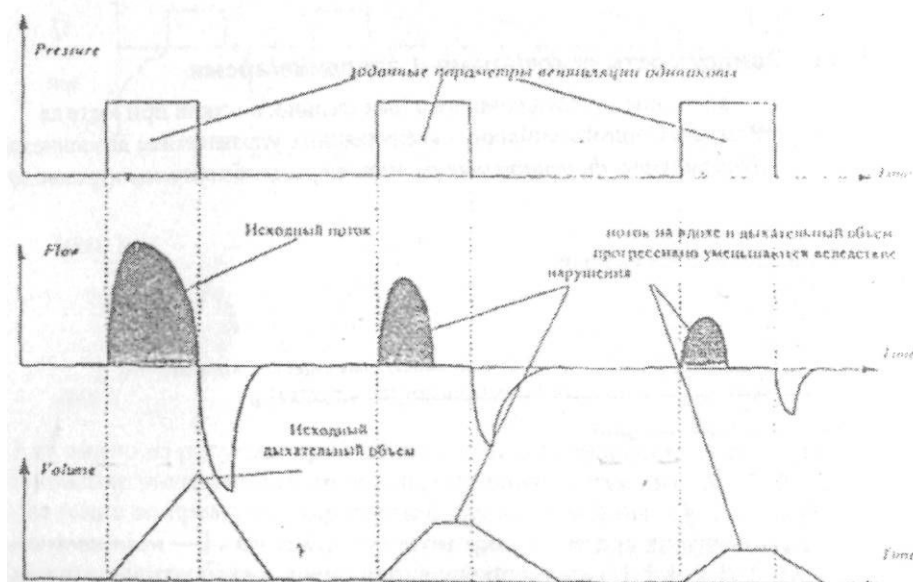
в течение принудительного дыхательного цикла при методе Pressure Control ventilation - «вентиляции с управляемым давлением» (Параметры, формируемые респиратором, обозначены курсивом)



Таким образом, значение потока на вдохе, скорость его повышения и снижения и, следовательно, дыхательный объем зависит от состояния респираторной системы пациента, прежде всего- проходимости дыхательных путей, а также от интенсивности самостоятельной дыхательной активности пациента. Иными словами, дыхательный объем, а вместе с ним и МОД при Pressure control ventilation НЕ ГАРАНТИРОВАН установленными оператором параметрами. Наиболее серьезной опасностью при Pressure control ventilation является нарушение проходимости дыха-

тельных путей, например, вследствие скопления мокроты. При этом аппарат продолжает выдерживать заданное давление в течение заданного времени вдоха, однако это давление уже не может обеспечить требуемым дыхательный объем. При этом пациент, формально находящийся на принудительной вентиляции, может вообще не получать дыхательного объема!

Рис7. Зависимости давление/время и поток/время и объем/время при Pressure control ventilation при неизменных аппаратных параметрах, но постепенном нарушении проходимости дыхательных путей



Мы сознательно в первую очередь акцентировали внимание на особенностях Pressure control ventilation (PCV), которые могут «непредсказуемо» приводить к уменьшению МОД и, следовательно, представлять опасность для пациента (Любой современный респиратор позволяет мониторировать минутный объем дыхания (minute volume). Таким образом, риск катастрофического снижения МОД при PCV можно уменьшить путем адекватной установки параметров тревог (alarm). Аппарат своевременно просигнализирует о снижении МОД, и вы успеете принять меры по восстановлению проходимости дыхательных путей, а в экстренных и непонятных случаях перейти на Volume control ventilation

). Однако эти особенности свидетельствуют только о более низкой «степени респираторной поддержки» Pressure control ventilation по сравнению . **Volume**

Режимы формирования ритма вентиляции

Необходимо отметить, что в настоящее время не выработано общепринятой единой номенклатуры режимов; формирования ритма вентиляции, однако часто под разными названиями обозначаются примерно одинаковые понятия. Описываемые режимы соответствуют аппаратам «Puritan Bennett», «Servo Ventilator (Simens)», «Veolar (Hamilton medical)».

Режимы CMV(Continius Mandatory Ventilation) - Постоянная принудительная вентиляция

Как следует из названия, данный ритм вентиляции представляет собой последовательность принудительных циклов вентиляции. Могут использоваться методы Volume control или Pressure control. Принудительные циклы инициируются респиратором с частотой, задаваемой параметром *частота дыхания (V)*. При использовании дыхательных циклов Volume control *дыхательный объем X частота дыхания* будет равен минутному объему вентиляции. Таким образом, ТОЛЬКО в случае постоянной (не синхронизированной) принудительной вентиляции по методу Volume control врач может аппаратно установить минутный объем вентиляции. (В таком режиме, но только в таком, работают респираторы типа «РО», «Фаза»).

Режим (S)CMV (Synchronized Continius Mandatory Ventilation) - Синхронизированная постоянная принудительная вентиляция

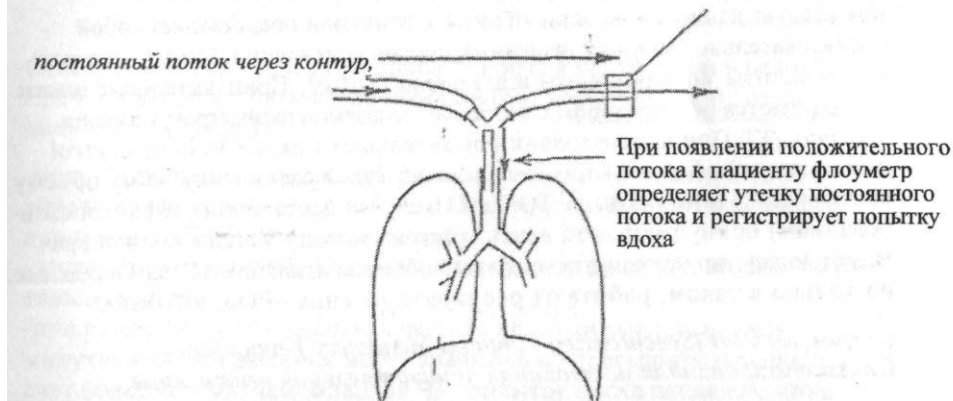
Отличие режима (S)CMV от CMV в том, что инициация принудительного дыхательного цикла при режиме (S)CMV может осуществляться как респиратором, так и пациентом - т.е. начало принудительного цикла (S)CMV синхронизируется с попыткой вдоха пациента. При отсутствии попыток вдоха респиратор инициирует принудительные дыхательные циклы последовательно через интервалы времени, равные 1 мин/ ЧД. Однако, если до окончания очередного такого интервала триггер регистрирует попытку вдоха пациента, респиратор начнет принудительный дыхательный цикл синхронно с попыткой вдоха, т.е. не дожидаясь окончания интервала 1 мин/ЧД. Таким образом, реальная частота вентиляции и, следовательно, МОД при режиме (S)CMV может быть больше заданных. Именно этот режим чрезвычайно опасен в смысле «аутоциклирования» - при необоснованно высокой чувствительности триггера респиратор начинает резко увеличивать частоту принудительных вдохов в ответ на случайные движения пациента, мышечную дрожь, незначительные утечки из контура, скопление конденсированной воды в контуре аппарата.

Особенности ИВЛ при формировании ритма вентиляции в режиме CMV и (S)CMV: ритм вентиляции состоит только из принудительных дыхательных циклов.

- могут использоваться принудительные методы вентиляции либо с управляемым объемом - *CMV Volume control*, либо с управляемым давлением *CMV Pressure control*.
- респиратор формирует минимальную частоту принудительных дыхательных циклов.
- при режиме (S)CMV реальная частота принудительных циклов и минутный объем дыхания могут значительно превышать заданные за счет более частых, чем заданная ЧД, попыток вдоха пациента, что в случаях гиперактивности дыхательного центра больного, а также в случае слишком высо-

Рис. 15

Схема потокового триггера



чувствительности триггера -2 см H_2O инспираторная попытка будет зарегистрирована при достижении давления +3 см H_2O . Таким образом, при вентиляции с СРАР субъективно для больного запуск триггера «по давлению» облегчается, т.к. давление в дыхательных путях никогда не снижается до отрицательных величин.

Потоковый триггер (flow trigger «Flow by») - наиболее совершенная система регистрации попытки вдоха. «Flow by» - «проходящий поток» - потоковый триггер с таким названием впервые появился на вентиляторах «Puritan Bennett-7200»

В этом случае через контур аппарата постоянно проходит некоторый постоянный поток. Начиная вдох, пациент сразу получает этот поток, не чувствуя задержки на срабатывание триггера. Аппарат же улавливает «утечку», регистрируя таким образом усилие пациента. Вслед за этим следует требуемый ответ - инициация принудительного или вспомогательного дыхательного цикла.

Триггер является чрезвычайно важной частью аппарата ИВЛ. Неадекватная настройка триггера, например, слишком низкая чувствительность может сводить на нет все усилия врача по оптимизации вспомогательной ИВЛ - пациент не сможет получить респираторную поддержку, т.к. не сможет преодолеть порог чувствительности триггера.

С другой стороны, необоснованно высокая чувствительность триггера при принудительных режимах может приводить к «аутоциклированию» аппарата - неконтролируемому увеличению частоты принудительных циклов, следовательно — резкому сокращению времени выдоха, перераздуванию легких вплоть до разрыва, пневмоторакса и т.д.

Одной из важнейших характеристик определяющих качество дыхательного аппарата, является время ответа на триггер — промежуток времени, необходимый электронным и пневматическим системам на то, чтобы зарегистрировать дыхательную попытку пациента и реализовать максимальный поток вдоха.

control ventilation Благодаря «плавающему» дыхательному объему при PCV, пациент может в большом диапазоне самостоятельно регулировать объем вдоха и вслед за ним - МОД. При попытке пациента «вдохнуть глубже», т.е. при «более интенсивной инспираторной попытке» аппарат не мешает пациенту это сделать (как при Volume control, более того, стремясь удержать заданный уровень *давления на вдохе* ~ автоматически увеличивает скорость потока вдоха. Таким образом, метод PCV уже более подходит для пациента в сознании с нормально функционирующей регуляцией дыхания. С другой стороны -PCV остается принудительным (mandatory) методом, т.к. имеется возможность вентиляции «пассивного» пациента, т.е. аппарат может совершать заданное число обязательных вдохов, не зависящих от дыхательной активности больного (в сочетании с режимами CMV или SIMV).

Однако, главным преимуществом Pressure control ventilation является возможность ограничения максимального давления в дыхательных путях и альвеолах - то, ради чего был создан этот метод как альтернатива Volume control. Это необходимо в ситуациях значительного уменьшения податливости (комплаенса) легочной ткани. Наиболее часто эта проблема возникает при РДСВ (респираторном дистресс-синдроме взрослых) - частом осложнении критических состояний. При вентиляции по методу Volume control нередко происходит превышение максимального безопасного давления, что ведет к перераздуванию легких и баротравме альвеол. Это, безусловно, не всегда приводит к разрыву легких и пневмотораксу, но чаще проявляется в виде микроразрывов альвеол, что усугубляет воспаление и ухудшает прогноз заболевания. Pressure control ventilation позволяет предотвратить эти осложнения при обеспечении достаточной оксигенации.

Таким образом, можно сформулировать основные особенности метода Pressure control ventilation - вентиляции с управляемым давлением.

- задается аппаратно и точно выдерживается *давление в дыхательных путях* на вдохе.
- поток в дыхательных путях на вдохе и дыхательный объем при PCV при одних и тех же аппаратно заданных значениях давления на вдохе и времени вдоха не постоянны, «плавают» и могут меняться в зависимости от проходимости дыхательных путей, интенсивности респираторной попытки и податливости легочной ткани пациента.
- метод PCV является принудительным, т.е. может применяться у пациентов с отсутствующими самостоятельными дыхательными попытками.
- метод PCV по сравнению с VCV является более мягким, с меньшей «степенью респираторной поддержки», т.к. позволяет пациенту самостоятельно регулировать дыхательный объем.
- Гарантированное ограничение максимального давления в дыхательных путях и альвеолах. позволяет использовать метод PCV у пациентов со сниженной, податливостью легочной ткани без риска баротравмы

Выбор параметров при вентиляции с управлением давлением (Pressure control ventilation) с использованием кривых респираторной механики

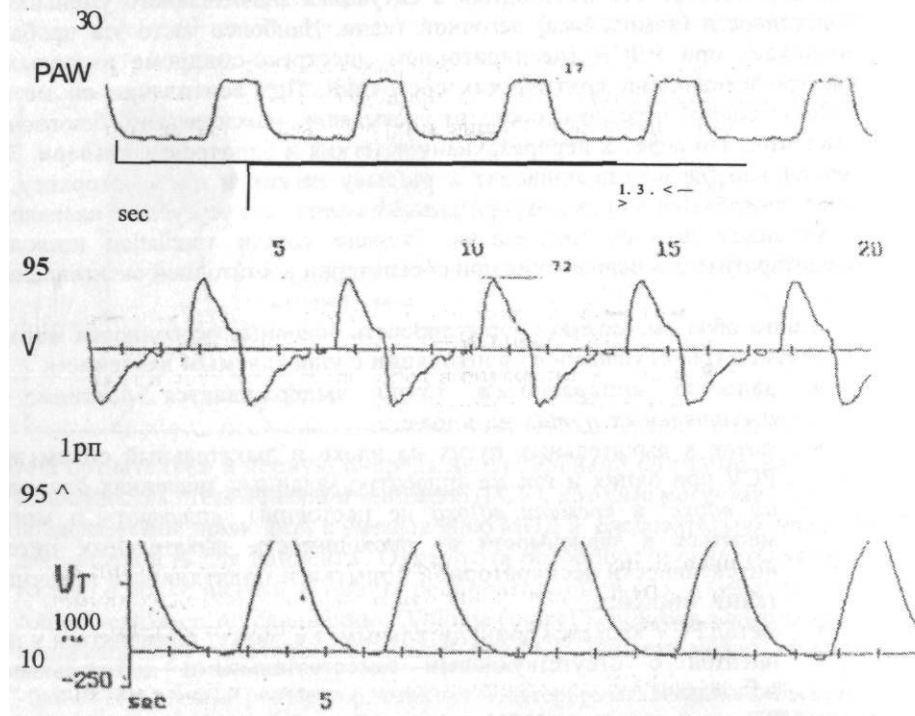
При методе вентиляции с управляемым давлением (pressure control ventilation) на панели вентилятора врач должен установить *давление на вдохе и время вдоха*. Как же выбрать оптимальное соотношение пикового давления и времени вдоха? Очевидно, что при каждом дыхательном цикле пациент должен получать требуе-

мый дыхательный объем, однако при этом необходимо использовать как можно меньшее давление в дыхательных путях. В некоторых случаях ограничено также и время вдоха, например при необходимости высокой частоты дыхания. Используйте кривые давления и потока в дыхательных путях, которые отражает графический монитор

респиратора можно очень точно выбрать оптимальные параметры.

На данном рисунке показан пример оптимального выбора давления в дыхательных путях (17 см H₂O) и времени вдоха (1.3 сек). Выдох заканчивается тот момент, когда поток на входе приближается к нулю. При этом пациент получает требуемый дыхательный объем (900 мл)

Рис. 8 Оптимальный выбор давления на входе и времени вдоха при Pressure control ventilation



Time Cycled. Именно последний способ переключения описан в разделе, посвященном VCV, он применяется наиболее часто в современных респираторах. Такая же разница между Pressure control и Pressure cycled) Переключение с вдоха на выдох происходит при достижении заданного дыхательного объема. Этот принцип в современных аппаратах не применяется.

Pressure cycled - переключение по давлению, прессио-циклическая вентиляция. Переключение с вдоха на выдох происходит при достижении заданного давления. Может применяться при Pressure support ventilation

Переключение по потоку - переключение с вдоха на выдох происходит при снижении потока на входе до определенной величины. Наиболее частый принцип переключения давления поддержки при Pressure support ventilation

Time cycled - переключение с вдоха на выдох происходит по истечении определенного времени - *времени вдоха*. Наиболее распространенный способ формирования принудительных дыхательных циклов и ритмов при принудительной вентиляции (CMV, SIMV). Данный метод наиболее безопасен для пациента, поскольку независимо от реализации заданных параметров аппарат предоставит пациенту время на выдох. Кроме того, только такой принцип позволяет формировать инспираторную паузу в конце вдоха,

когда поток равен нулю, а давление и объем остаются постоянными в течение некоторого времени.

В современных респираторах чаще всего используется переключение по времени для принудительных режимов вентиляции и переключение по потоку или по давлению для вспомогательных режимов.

Триггер

При формировании ритма вентиляции важное значение приобретает регистрация самостоятельных дыхательных попыток пациента и синхронизация с ними работы респиратора. Для этой цели существует триггер.

В настоящее время в аппаратах используются два типа триггеров, использующих разные принципы детекции попытки вдоха:

триггер «по давлению» (pressure trigger) - регистрирует появление в дыхательных путях отрицательного давления вследствие усилия пациента. Когда снижение давления преодолевает заданный врачом порог чувствительности (- 1 — 6 см H₂O), аппарат отвечает на попытку пациента инициацией либо принудительного, либо вспомогательного дыхательного цикла. Недостатком данного триггера является довольно значительное усилие пациента, необходимое для развития отрицательного давления даже около -1-2 см H₂O.

Этот же факт может быть полезен, поскольку позволяет дозированно тренировать дыхательные мышцы пациента в процессе перевода на самостоятельное дыхание.

Необходимо обратить внимание на то, что чувствительность триггера задается относительно базового давления (давления в промежутках между дыхательными циклами), т.е. если установлен уровень постоянного положительного давления (PEEP/CPAP) +5 см H₂O, то при

вает нагрузку на правый желудочек, что при наличии пред существующей сердечной недостаточности (часто скрытой), может также вызывать опасные изменения гемодинамики. Таким образом, РЕЕР/CPAP должен с большой осторожностью применяться у пациентов с предполагаемой гиповолемией также у пожилых людей, возможно страдающих ИБС.

Дальнейшее увеличение времени вдоха без изменения давления вдохе не приведет к увеличению дыхательного объема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели основные виды дыхательных циклов (методы вентиляции), встречающиеся при проведении ИВЛ:

- **Принудительные** — методы Volume control, Pressure control. Принудительные циклы могут инициироваться аппаратом, а также начинаться в ответ на инспираторную попытку пациента.
- **Вспомогательные** — метод **Pressure support (ASB)**, опция **CPAP**. Вспомогательные циклы не могут быть инициированы аппаратом. Реализуются только в ответ на инспираторную попытку пациента.
- **Спонтанное дыхание**. Аппарат не участвует в формировании дыхательного цикла.

Глава 4. Формирование ритма вентиляции

Ритм вентиляции - последовательность дыхательных циклов в течение минуты. При формировании ритма вентиляции микропроцессор аппарата решает два вопроса - в какой момент начинать вдох и в какой момент вдох необходимо закончить и начать выдох.

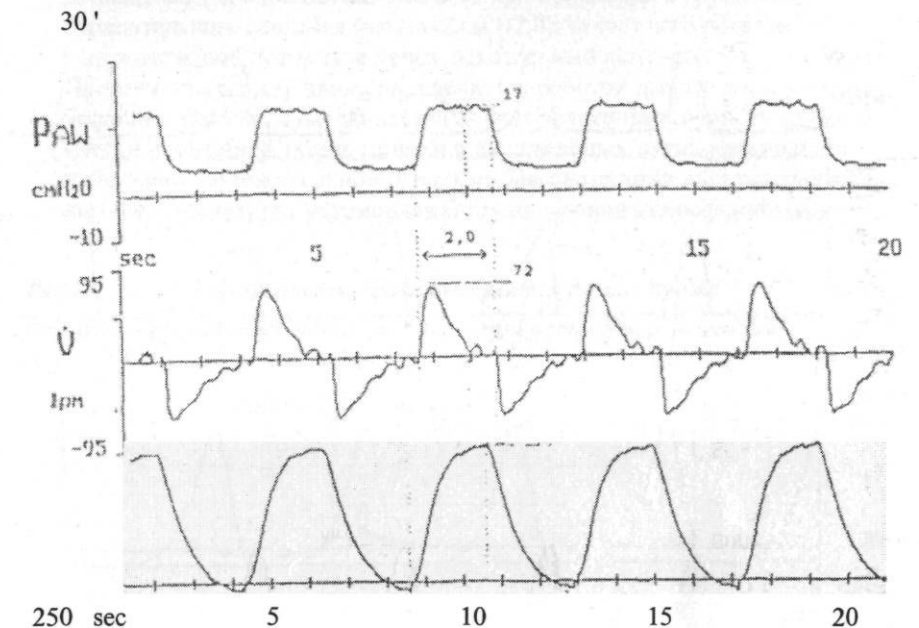
Начало вдоха может инициироваться аппаратом по истечении определенного времени после предыдущего вдоха. Этот временной промежуток задается врачом косвенно в виде частоты дыхания. Дыхательной попытки пациента в этом случае не требуется (passive patient). Аппарат самостоятельно инициирует только принудительные (mandatory) дыхательные циклы.

Кроме того, аппарат может инициировать начало вдоха в ответ на срабатывание триггера (**Trigger** - «спусковой крючок» - в современной дыхательной аппаратуре — следящее электронное устройство, определяющее начало вдоха пациента и информирующее об этом событии основной процессор аппарата), т.е. в ответ на попытку пациента вдохнуть. Типы и принципы работы триггеров обсуждаются далее. В результате срабатывания триггера респиратор может инициировать как принудительный, так и вспомогательный дыхательный цикл.

Следующий вопрос, решаемый автоматикой аппарата во время формирования ритма вентиляции, - когда заканчивать принудительный или вспомогательный вдох и начинать выдох (Строго говоря, аппарат предоставляет пациенту время на пассивный выдох.). Возможно четыре принципа переключения с вдоха на выдох:

Volume cycled — переключение по объему, вольюм-циклическая вентиляция. (NB! Необходимо различать понятия Volume control ventilation (вентиляция с управляемым объемом) и Volume cycled ventilation (вольюм-циклическая вентиляция). В первом случае, мы говорим о главном параметре дыхательного цикла, формируемого вентилятором, во втором - исключительно о способе переключения с вдоха на выдох. При Volume control ventilation переключение с вдоха на выдох может осуществляться как по принципу volume cycled, так и по принципу

Рис. 9 Избыточное, время вдоха при Pressure control ventilation



На рисунке демонстрируется избыточное время вдоха при вентиляции с управляемым давлением. Поток на входе снижается до нуля, однако респиратор продолжает удерживать заданное давление в дыхательных путях (17 см H₂O). В это время увеличения дыхательного объема не происходит. Возможно рассматривать этот промежуток (0.7 сек) как инспираторную паузу (период нулевого потока и постоянного объема между, концом вдоха и началом выдоха). Отметим также, что конец выдоха практически совпадает с началом следующего вдоха, т.е. дальнейшее увеличение времени вдоха или частоты дыхания сопряжено с риском развития «воздушной ловушки». Применить избыточное время вдоха при вентиляции «по давлению» целесообразно в тех случаях, когда используется инспираторная пауза при вентиляции по объему, при этом необходимо контролировать адекватность выдоха.

Рис. 10 Избыточное давление на вдохе при Pressure control ventilation

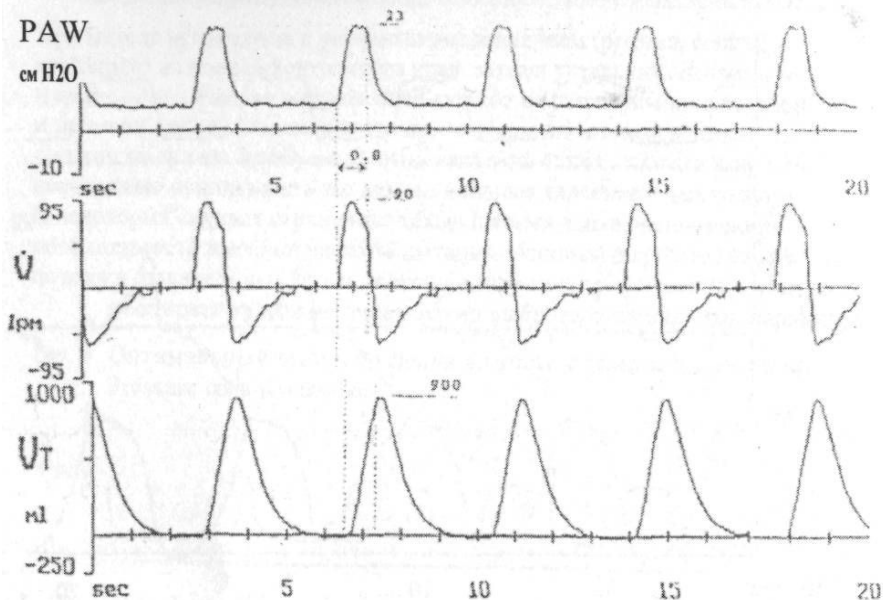


Рисунок демонстрирует избыточное давление и дыхательных путях при недостаточном времени вдоха. Вдох заканчивается раньше, чем поток уменьшается до нуля. При этом пациент получает такой же дыхательный объем (900 мл), но пиковое давление в дыхательных путях значительно выше - 23 см H₂O. Также мы видим, что имеется значительный временной промежуток между концом выдоха и началом следующего вдоха, т.е. мы имеем право увеличить *время вдоха* без риска возникновения неполноценного выдоха. Увеличивая время вдоха можно либо увеличить дыхательный объем (при необходимости), либо снизить давление в дыхательных путях, уменьшая риск баротравмы.

Спонтанный дыхательный цикл

Прежде чем рассмотреть вспомогательные методы вентиляции, рассмотрим формирование спонтанного дыхательного цикла. Вспомогательные дыхательные циклы отличаются от спонтанного тем, что какой-то один из параметров формируется респиратором, остальные соответствуют самостоятельному дыханию.

При спонтанном дыхательном цикле все параметры формируются пациентом, т.е. вдох осуществляется при появлении в грудной клетке отрицательного давления (около -2 см H₂O), за счет чего появляется положительный поток газа через дыхательный контур. Продолжительность вдоха определяется работой дыхательного центра больного. Выдох осуществляется за счет эластичных свойств грудной клетки и легочной ткани, причем в дыхательных путях развивается небольшое положительное давление. По окончании выдоха давление в дыхательных путях устанавливается на уровне атмосферного.

Если спонтанное дыхание осуществляется через контур аппарата, последний формирует необходимую газовую смесь и мониторирует параметры дыхательного

В современных дыхательных аппаратах эти параметры объединены в один (регулируются одной ручкой) - **PEEP/CPAP**. В случае принудительных режимов мы регулируем PEEP - *положительное давление в конце выдоха* (поскольку во все остальные фазы оно и без того положительное), в случае спонтанного дыхания мы регулируем CPAP — *постоянное положительное давление*. Если для реализации PEEP во время принудительного дыхания достаточно усовершенствовать клапан выдоха, добавив к нему устройство для дозированного сопротивления (в самом простом случае - банка с водой, с погруженным в нее из определенной глубины шлангом, присоединенным к контуру вдоха.), то в случае спонтанного дыхания с CPAP на вдохе необходимо подавать больному дополнительный поток для удержания давления на заданном уровне. Т.е. можно рассматривать режим CPAP как Pressure support ventilation с давлением поддержки, равным базовому. Таким образом, спонтанный дыхательный цикл с CPAP можно рассматривать как вспомогательный, т.к. стремясь удержать заданный уровень давления на вдохе, аппарат подает в дыхательный контур дополнительный поток, облегчая тем самым пациенту вдох. В этом смысле опцию CPAP можно назвать самостоятельным *вспомогательным методом вентиляции*.

Рис. 14 Зависимости давление/время и поток/время при спонтанном дыхании, (методом CPAP - постоянным положительным давлением (Параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом)

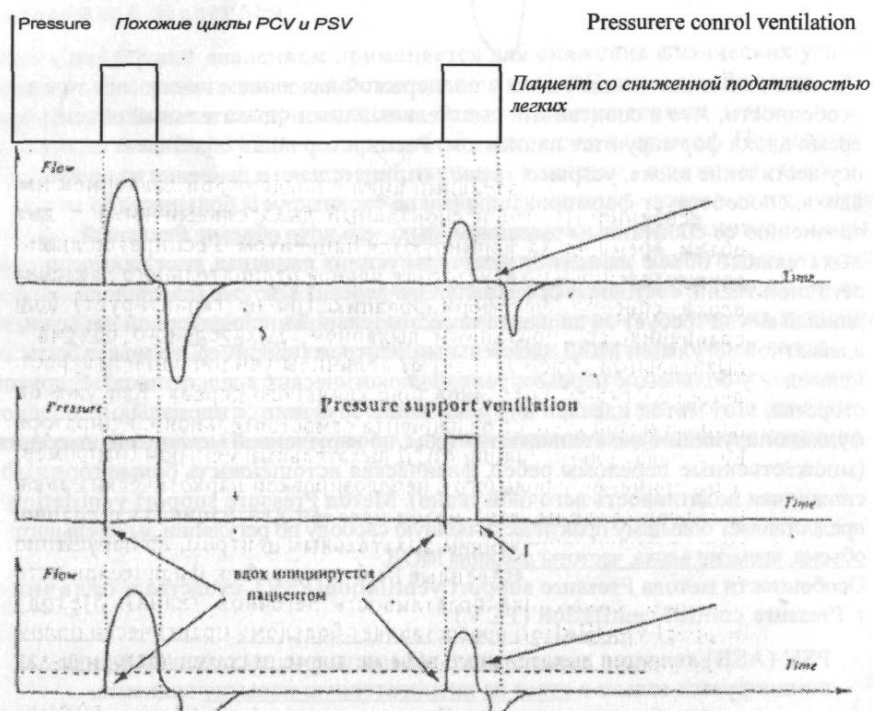
Pressure	Фаза вдоха	Фаза выдоха
		уровень PEEP/CPAP
		В ответ на попытку вдоха аппарат подает поток
Flow		восстановления заданного уровня давления

Как уже отмечалось, PEEP/CPAP предотвращает спадение альвеол и образование ателектазов. В ранних стадиях РДСВ применение PEEP/CPAP на уровне не менее 10 см H₂O вовлекает в газообмен дополнительные непораженные альвеолы, за счет чего улучшаются вентиляционно-перфузионные отношения (уменьшается шунтирование кропи «справа-налево»), что может значительно улучшить оксигенацию.

Однако, использование опции PEEP/CPAP имеет свои ограничения. При принудительных режимах вентиляции применение PEEP неизбежно приводит к повышению пикового давления в дыхательных путях, что увеличивает риск баротравмы легких. Второе важное последствие применения PEEP/CPAP - отрицательное влияние на центральную гемодинамику. Повышая среднее давление в грудной полости PEEP/CPAP уменьшает венозный приток к сердцу, что в условиях гиповолемии может приводить к значительному снижению сердечного выброса. Кроме того, повышая сопротивление легочных капилляров, PEEP/CPAP увеличи-

Рис.13 Отличия Pressure support ventilation и Pressure control ventilation

(заданный аппаратно уровень давления одинаков)



Опции РЕЕР/CPAP (Positive End-Expiratory Pressure /Continuous Positive Airway Pressure - Положительное давление на выдохе/постоянное положительное давление)

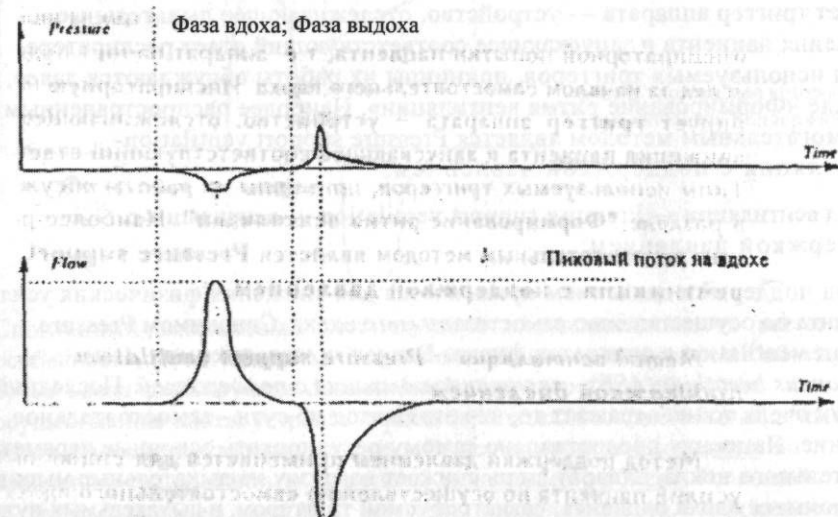
При некоторых патологических состояниях легких и прежде всего -при РДСВ - в альвеолах нарушается продукция сурфактанта. Вследствие этого увеличивается вероятность спадения альвеол при снижении на выдохе давления в дыхательных путях до атмосферного. Для предотвращения этого явления в современных респираторах имеется возможность удерживать давление во время выдоха на некотором положительном уровне. В целях профилактики ателектазов используется уровень +5...+ 10 см H₂O, в лечебных целях при РДСВ —и 10...+ 15 см H₂O. Таким образом, давление в дыхательных путях никогда не опускается ниже установленного уровня. Для принудительных режимов вентиляции этот параметр называется *Positive End-Expiratory Pressure (PEEP)* - *положительное давление в конце выдоха*, в случае спонтанного дыхания эта опция носит название *Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)* - *постоянное положительное давление в дыхательных путях*. В последнем случае термин подчеркивает, что положительное давление выдерживается как на выдохе, так и на вдохе. (Вспомним, что в случае спонтанного дыхания давление во время вдоха может снижаться ниже атмосферного). Метод CPAP может применяться при спонтанном дыхательном цикле самостоятельно, а также сочетаться с Pressure support.

цикла, прежде всего - дыхательный объем, частоту дыхания и МОД. В случае снижения одного из параметров ниже безопасного уровня респиратор может сигнализировать об этом, а также автоматически включить режим *принудительной вентиляции апноэ*.

Спонтанное дыхание через контур аппарата применяется редко, однако при наличии в респираторе расширенной системы графического мониторинга оно может иметь важное диагностическое значение для оценки возможности самостоятельного дыхания и прекращения ИВЛ. Так, может быть точно измерен дыхательный объем и МОД. Пиковый поток на входе и скорость его увеличения могут быть важными характеристиками физических возможностей пациента. Форма потока на выдохе хорошо отражает

Рис.11 Зависимости давление/время и поток/время

При спонтанном дыхательном цикле, (все параметры формируются пациентом)



состояние дыхательных путей больного. Также у интубированного пациента (разумеется, при необходимости) легче производить забор выдыхаемого воздуха, например для мониторинга поглощаемого кислорода, выделяемого CO₂ и дальнейшего анализа метаболических процессов и организме

Вспомогательные методы вентиляции

Под вспомогательным дыхательным циклом подразумевается дыхательный цикл, при котором основные его параметры - дыхательный объем и продолжительность вдоха формируются пациентом. Респиратор формирует обычно только один параметр, облегчающий пациенту вдох. Вторым обязательным условием вспомогательного дыхательного цикла является наличие-инспираторной попытки пациента, т.е. аппарат начнет поддержку только вслед за началом самостоятельного вдоха. Инспираторную попытку регистрирует триггер аппарата — устройство, отслеживающее дыхательные движения пациента и запускающее соответствующий ответ респиратора. Типы используемых триггеров, принципы их работы обсуждаются далее, в разделе «Формирование ритма вентиляции». Наиболее рас-

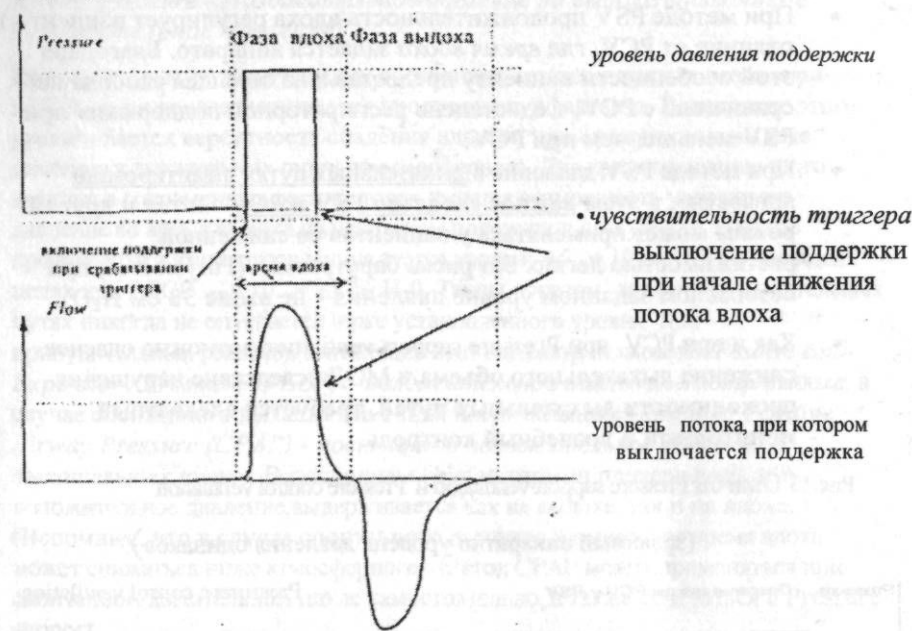
пространенным вспомогательным методом является Pressure support ventilation-вентиляция с поддержкой давлением.

Метод вентиляции — Pressure support ventilation — вентиляция с поддержкой давлением

Метод поддержки давлением применяется для снижения физических усилий пациента по осуществлению самостоятельного вдоха. Синонимом Pressure support ventilation в аппаратах фирмы Drager является термин *Assist spontaneous breathing (ASB)* - *спонтанное дыхание с поддержкой*. Последний термин очень точно отражает то, что этот метод по сути - самостоятельное дыхание. Пациенту предоставлено самому регулировать основные параметры дыхательного цикла, аппарат лишь снижает нагрузку на дыхательные мышцы. При попытке вдоха пациента, регистрируемой триггером, в дыхательных путях респиратором развивается *давление поддержки*, заданное врачом. В отличие от метода Pressure control ventilation время вдоха, т.е. время удержания давления на заданном уровне, определяется пациентом. При снижении потока вдоха ниже определенного уровня, т.е. в конце вдоха респиратор отключает давление поддержки. (Уровень потока, при снижении до которого отключается давление поддержки, является технической характеристикой конкретного аппарата, обычно около 5 л/мин).

Рис. 12 Зависимости давления/время и поток/время

при спонтанном дыхательном цикле с поддержкой давлением (*Параметры, формируемые респиратором обозначены курсивом*)



Спонтанный дыхательный цикл с поддержкой давлением имеет все те же особенности, что и спонтанный дыхательный цикл - дыхательный объем, время вдоха формируются пациентом. Респиратор лишь облегчает осуществление вдоха, устраняя период отрицательного давления во время вдоха, способствует форми-

рованию (по не гарантирует) большого, по сравнению со спонтанным дыханием, дыхательного объема. Реальный дыхательный объем зависит от величины усилия пациента, растяжимости легочной ткани, состояния бронхиального дерева! Как уже отмечалось, данный метод требует от пациента самостоятельной инспираторной попытки, адекватной регуляции МОД дыхательным центром (например, не может быть применен у больного с передозировкой наркотических анальгетиков). С другой стороны, этот метод идеален для пациента в сознании, с нормально функционирующим дыхательным центром, но нарушенной механикой дыхания (множественные переломы ребер, физическая истощенность больного, сниженная податливость легочной ткани). Метод Pressure support ventilation предоставляет большему практически полную свободу по регуляции дыхательного объема, времени вдоха, частоты дыхания МОД.

Особенности метода Pressure support ventilation (PSV), сходства и отличия от Pressure control ventilation (PCV)

- PSV (ASB) является вспомогательным методом, дыхательный цикл инициируется только в ответ на инспираторную попытку пациента, поэтому этот метод не может применяться у пациента с отсутствующими самостоятельными дыхательными попытками или с нарушенной функцией дыхательного центра, (отличие от PCV).
- При методе PSV продолжительность вдоха регулирует пациент - в отличие от PCV, где *время вдоха* задается аппарате. Благодаря этой особенности пациенту предоставлена большая свобода по сравнению с PCV, т.е. «степень респираторной поддержки» при PSV меньше, чем при PCV.
- При методе PSV давление в дыхательных путях лимитировано аппаратно, в этом важное сходство PSV и PCV - и тот и другой режим может применяться у пациентов со сниженной растяжимостью легких без риска баротравмы. (Разумеется, при безопасном заданном уровне давления - не выше 30 см H₂O).
- Как и при PCV, при Pressure support ventilation возможно опасное снижение дыхательного объема и МОД вследствие нарушения проходимости дыхательных путей, требуется адекватный мониторинг и врачебный контроль.