



Библиотека  
врача-специалиста

Анестезиология-  
реаниматология  
Неонатология

Ю.С. Александрович  
К.В. Пшениснов

# Респираторная поддержка при критических состояниях в педиатрии и неонатологии



Москва  
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА  
«ГЭОТАР-Медиа»  
2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
Список сокращений и условных обозначений .....	7
<b>Глава 1.</b> Исторические вехи респираторной поддержки .....	9
<b>Глава 2.</b> Анатомо-физиологические особенности дыхательной системы у детей .....	17
<b>Глава 3.</b> Клиническая физиология дыхания .....	23
3.1. Внешнее дыхание .....	24
3.2. Транспорт газов кровью .....	59
3.3. Тканевое дыхание .....	63
<b>Глава 4.</b> Характеристика аппаратов искусственной вентиляции легких .....	64
<b>Глава 5.</b> Основные характеристики методов респираторной поддержки в педиатрии .....	69
5.1. Оксигенотерапия .....	69
5.2. Неинвазивная вентиляция легких .....	78
5.3. Инвазивная искусственная вентиляция легких .....	80
<b>Глава 6.</b> Искусственная вентиляция легких при остром респираторном дистресс-синдроме .....	83
<b>Глава 7.</b> Искусственная вентиляция легких при обструктивном синдроме .....	92
<b>Глава 8.</b> Искусственная вентиляция легких при аспирационном синдроме .....	96
<b>Глава 9.</b> Искусственная вентиляция легких при острой церебральной недостаточности .....	100
<b>Глава 10.</b> Искусственная вентиляция легких при торакальной травме .....	106
<b>Глава 11.</b> Искусственная вентиляция легких при врожденных пороках сердца .....	111
<b>Глава 12.</b> Неинвазивная искусственная вентиляция легких .....	120
<b>Глава 13.</b> Искусственная вентиляция легких у новорожденных .....	130
13.1. Принципиальные отличия дыхательной системы новорожденного .....	130
13.2. Инвазивная искусственная вентиляция легких у новорожденных .....	130

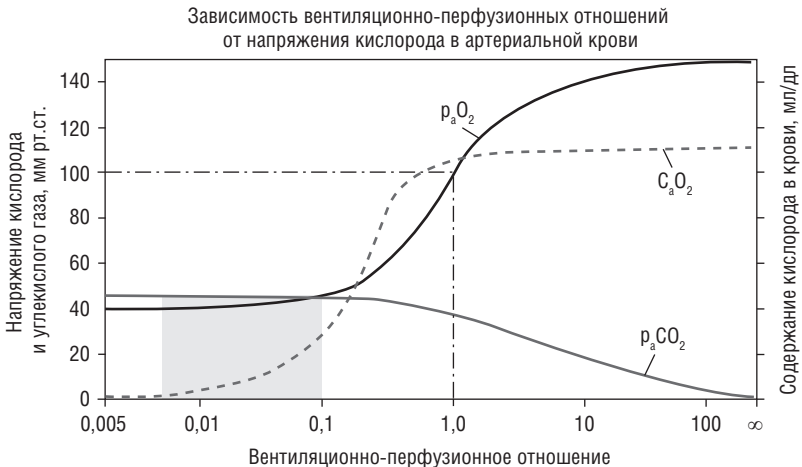
13.3. Особенности респираторной поддержки при респираторном дистресс-синдроме новорожденных .....	131
13.4. Особенности респираторной поддержки при аспирационном синдроме .....	133
13.5. Неинвазивная искусственная вентиляция легких у новорожденных .....	134
<b>Глава 14.</b> Основы высокочастотной вентиляции легких .....	173
<b>Глава 15.</b> Отлучение от инвазивной вентиляции легких .....	180
<b>Глава 16.</b> Вентилятор-ассоциированная пневмония .....	186
<b>Глава 17.</b> Графический мониторинг респираторной поддержки .....	199
<b>Глава 18.</b> Увлажнение и согревание дыхательной смеси .....	204
<b>Глава 19.</b> Санация трахеобронхиального дерева .....	209
<b>Глава 20.</b> Экстракорпоральная мембранная оксигенация в педиатрии .....	215
20.1. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у новорожденных .....	215
20.2. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у детей старшего возраста .....	219
<b>Глава 21.</b> Особенности респираторной поддержки и интенсивной терапии при заболеваниях органов дыхания .....	225
21.1. Инородное тело в верхних дыхательных путях .....	227
21.2. Острый эпиглоттит .....	228
21.3. Обструктивный ларингит .....	230
21.4. Острый бронхиолит .....	237
21.5. Бронхиальная астма и астматический статус .....	241
21.6. Внебольничная пневмония .....	252
21.7. Дыхательная недостаточность .....	257
Список литературы .....	265
Приложение .....	269

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ РЕСПИРАТОРНОЙ ПОДДЕРЖКИ В ПЕДИАТРИИ

### 5.1. ОКСИГЕНОТЕРАПИЯ

Оксигенотерапия — наиболее популярный метод интенсивной терапии, используемый у пациентов в критическом состоянии. Однако рутинная и неоправданная дотация кислорода не только не целесообразна, но и вредна. Согласно современным рекомендациям по использованию кислорода у детей его назначение оправдано только в случае (Haque A., Rizvi M., Arif F., 2016):

- 1) гипоксемии ( $p_aO_2 < 60$  мм рт.ст.,  $S_pO_2 < 93\%$ );
- 2) остановки кровообращения, проведения мероприятий сердечно-легочной реанимации;
- 3) анемии тяжелой степени;
- 4) синдрома малого сердечного выброса;
- 5) септического шока;
- 6) тяжелой травмы;
- 7) периоперационного периода, анестезии.



**Рис. 43.** Влияние гипоксии на вентиляционно-перфузионные отношения

Следует отметить, что гипоксия опасна не только ухудшением оксигенации тканей, но и негативным влиянием на вентиляционно-перфузионные отношения. Как показано на рис. 43, в верхней сглаженной части, относящейся к захвату кислорода в легких (светло-серая область),  $C_aO_2$  почти не меняется. Несмотря на колебания  $p_aO_2$  от 60 до 100 мм рт.ст.,  $C_aO_2$  изменяется только на 12%! Крайне важно понимать, что увеличение  $p_aO_2$  выше 100 мм рт.ст. не приводит к дальнейшему росту  $C_aO_2$ . При значениях  $p_aO_2 > 100$  мм рт.ст. смысла в дальнейшем увеличении фракции кислорода в дыхательной смеси нет, так как это не приведет к росту  $C_aO_2$ , а  $FiO_2 > 0,6$  потенциально токсична для легочной ткани! В средней крутой части кривой насыщения, имеющей отношение к высвобождению кислорода, даже незначительные различия в парциальном давлении кислорода ведут к существенным изменениям  $S_aO_2$ , то есть кислород высвобождается из оксигемоглобина даже при небольших различиях в парциальном давлении — всего 10 мм рт.ст. (20–30%)!

Таблица 18

### Классификация гипоксии

Вид гипоксии	Характеристика
Острая	Возникает внезапно, длительность не превышает 6 ч
Подострая	Длительность составляет от 6 ч до 7 дней
Длительная	Продолжительность 7–90 дней
Хроническая	Сохраняется более 90 дней
Наследственная	Обусловлена генетическими особенностями

Таблица 19

### Степень выраженности гипоксии в зависимости от показателей сатурации артериальной крови кислородом

$p_aO_2$ , мм рт.ст.	$S_aO_2$ , %
80	94
60	88
40	75
27	50

Таблица 20

**Эффективность оксигенотерапии в зависимости от этиологии гипоксии**

Причина гипоксии	Влияние на альвеолярно-артериальный градиент	Эффективность оксигенотерапии
Снижение $FiO_2$	Не изменена или снижена	Высокая эффективность
Гиповентиляция	Не изменена	Умеренная эффективность
Нарушение вентиляционно-перфузионных отношений	Повышена	Умеренная эффективность
Шунтирование справа налево	Повышена	Отсутствие эффекта
Нарушения диффузии через альвеолярно-капиллярную мембрану	Повышена	Умеренная эффективность

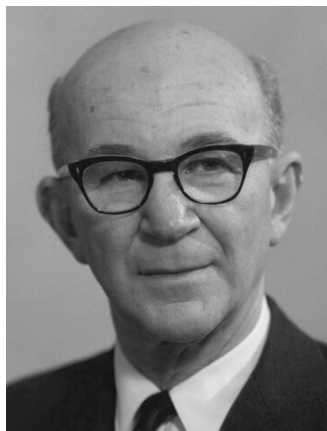
В зависимости от длительности гипоксии выделяют несколько ее видов, которые и определяют эффективность оксигенотерапии (табл. 18).

О степени выраженности гипоксии можно судить по показателям сатурации артериальной крови кислородом пульсирующей крови (табл. 19).

Кроме длительности и степени выраженности гипоксии на эффективность оксигенотерапии существенное влияние оказывает и причина гипоксемии (табл. 20).

При проведении оксигенотерапии крайне важно понимать, что следует не только обеспечить доставку кислорода пациенту, но и его потребление тканями, о чем еще говорил основоположник современной анестезиологии Роберт Макинтош (рис. 44): «В добром Божьем воздухе достаточно кислорода: надо только суметь довести его до больного».

Системы доставки кислорода, используемые в педиатрии, представлены в табл. 21.



**Рис. 44.** Роберт Макинтош (1897–1989)

Таблица 21

## Системы доставки кислорода

Система доставки	FiO <sub>2</sub>	Поток	Показания	Комментарии
Flow-by	Менее 0,3	Низкий переменный поток	Низкая потребность в кислороде, пациент не может переносить маску	Неустойчивая фракция кислорода в дыхательной смеси, обязательен мониторинг S <sub>рO<sub>2</sub></sub> *
Насальная канюля низкого потока (<6 л/мин)	0,25–0,4	Низкий переменный поток	Низкая потребность в кислороде	Фракция кислорода в дыхательной смеси зависит от инспираторного потока пациента
Насальная канюля высокого потока (1–70 л/мин)	0,21–1,0	Высокий или низкий переменный или постоянный поток	Низкая или высокая потребность в кислороде	Фракция кислорода в дыхательной смеси зависит от инспираторного и экспираторного потока пациента, требует увлажнения и согревания воздушной смеси
Простая маска	0,35–0,5	Низкий переменный поток	–	Пациент должен привыкнуть к маске
Частично реверсивная маска	0,5–0,6	Низкий переменный поток, резервуар	–	Пациент должен привыкнуть к маске
Нереверсивная маска	0,65–0,95	Низкий постоянный поток, резервуар	Высокая потребность в кислороде	Пациент должен привыкнуть к маске
Кислородная маска	0,24–0,9	Высокий или низкий переменный или постоянный поток	Низкая или высокая потребность в кислороде	Требует правильного положения источника кислорода, пациент должен привыкнуть к маске
Кислородная палатка или тент	Палатка: 0,25–0,9. Тент: 0,25–0,5	Высокий постоянный поток (палатка), высокий переменный поток (тент)	Низкая или высокая потребность в кислороде	Неточное дозирование подогревания и увлажнения

Дыхательный самона- полняющийся мешок	0,21–1,0	Постоянный поток, резервуар	Низкая или высокая потребность в кислоро- де, когда требуется механическая искус- ственная вентиляция легких	Может потребоваться блендер или резервуар, чтобы обеспе- чить необходимую фракцию кислорода в дыхательной смеси
Механическая ИВЛ	0,21–1,0	Высокий постоянный поток		Устройства для неинвазивной искусственной вентиляции лег- ких не всегда могут обеспечить необходимую фракцию кисло- рода в дыхательной смеси

\* Сатурация гемоглобина кислородом пульсирующей крови



Для проведения оксигенотерапии у детей наиболее широко применяют кислородную маску Хадсона средней концентрации (МС — medium concentration). Она обеспечивает фракцию кислорода в дыхательной смеси около 50% при скорости потока дыхательной смеси 10–15 л/мин (рис. 45). Однако при скорости потока менее 5 л/мин может отмечаться значительная рециркуляция углекислого газа, поэтому при скорости потока менее 5 л в минуту следует пользоваться назальными канюлями.

Для оксигенотерапии также используют маски с мешком-резервуаром объемом 600–1000 мл (рис. 46). При применении указанной маски фракция кислорода в дыхательной смеси составляет около 80% при скорости потока 10–15 л/мин. Выделяют два типа кислородных масок с мешком-резервуаром: с частичной рециркуляцией и без нее. Маски с частичной рециркуляцией в основном используют во время транспортировки, когда запасы кислорода ограничены.

Независимо от типа маски мешки-резервуары должны быть заполнены кислородом до начала их использования. При адекватном наполнении мешок не должен спадаться при каждом вдохе пациента более чем на две трети. Для предотвращения коллапсирования мешка и нарушения оксигенации подобные маски с мешком-резервуаром применяют только при скорости потока кислорода более 10 л/мин.

Как простые маски Хадсона, так и маски Хадсона с мешком-резервуаром относятся к маскам низкого потока, так как максимальный поток кислорода при их использовании не должен превышать 15 л/мин, в то время как инспираторный поток пациента может быть намного выше.



Рис. 45. Маска Хадсона



Рис. 46. Кислородная маска с мешком-резервуаром

Для проведения оксигенотерапии у пациентов с высокой скоростью инспираторного потока (пациенты с хронической обструктивной болезнью легких) обычно используют маску высокого потока (маска Вентури).

Маска Вентури имеет специальный клапан, в основу работы которого положен принцип Д. Бернулли: «В струе воздуха давление велико, если скорость мала, и давление мало, если скорость велика» (рис. 47).

При использовании маски Вентури создается градиент давлений по обе стороны клапана, при этом кислород, проходя через узкую часть клапана, поступает в более широкую, что приводит к снижению давления в области сужения, подсасыванию туда атмосферного воздуха и увеличению скорости потока кислородно-воздушной смеси (рис. 48).

Процент кислорода в дыхательной смеси, поступающей к пациенту, определяется размером отверстий в клапане Вентури. Клапаны различной цветовой маркировки позволяют подобрать оптимальную фракцию кислорода, необходимую конкретному пациенту (рис. 49).

Наиболее часто маску Вентури применяют у пациентов, которым необходимо тщательно контролировать фракцию кислорода в дыхательной смеси.

Основные принципы выбора маски представлены в табл. 22.

Обязательный компонент оксигенотерапии — это подогревание и увлажнение дыхательной смеси независимо от используемого типа

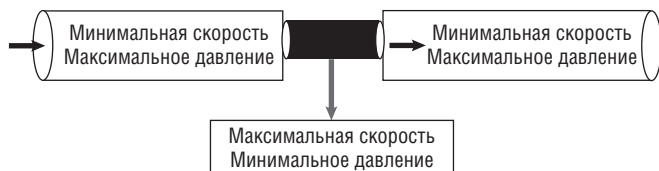


Рис. 47. Принцип Д. Бернулли

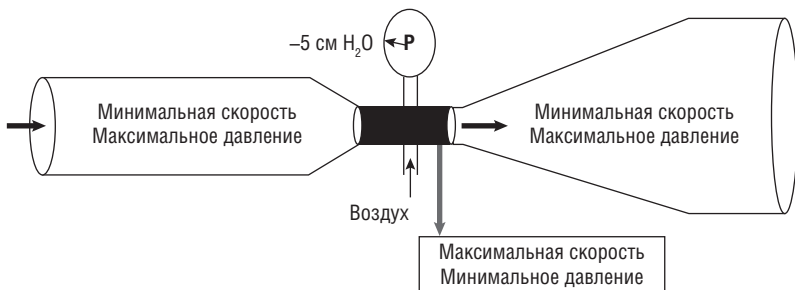


Рис. 48. Принцип работы клапана Вентури

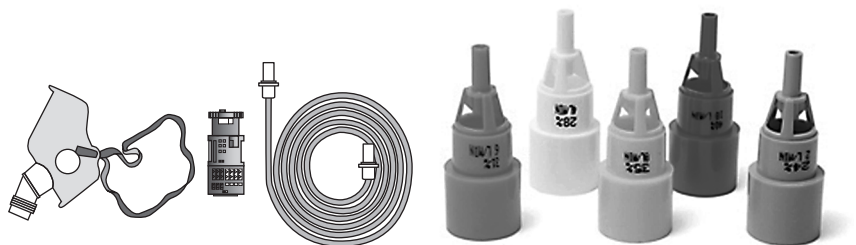


Рис. 49. Маска и клапаны Вентури

Таблица 22

**Принципы выбора устройств для оксигенотерапии**

Клиническая ситуация	Тип устройства
Пациенты с компенсированными витальными функциями, нуждающиеся в оксигенотерапии в послеоперационном периоде	Назальные канюли (2–4 л/мин)
Выраженная гипоксемия, необходимость в дыхательной смеси с высоким содержанием кислорода, отсутствие потребности точного определения фракции кислорода на вдохе (тяжелый приступ бронхиальной астмы, острая левожелудочковая недостаточность, пневмония, политравма, сепсис)	Маска Хадсона (более 5 л/мин) или маски с мешком-резервуаром (более 10 л/мин)
Необходимость четкого контроля концентрации кислорода в дыхательной смеси	Маска Вентури



Рис. 50. Дыхательный контур для проведения оксигенотерапии

устройства для доставки кислорода непосредственно пациенту. Схема контура для проведения оксигенотерапии представлена на рис. 50.

При неоправданном назначении оксигенотерапии могут возникать осложнения, включающие гиперкапнию, биологическую травму легкого, разрушение сурфактанта, развитие ателектазов, появление участков легких с низким вентиляционно-перфузионным отношением и ретро-лентальную фиброплазию.

В последние годы для проведения оксигенотерапии стали больше использовать канюли высокого потока, которые могут применяться и у детей всех возрастов, и у взрослых. Основные эффекты канюль высокого потока представлены на рис. 51.

Показатели стартовой скорости потока в зависимости от возраста пациента представлены в табл. 23.

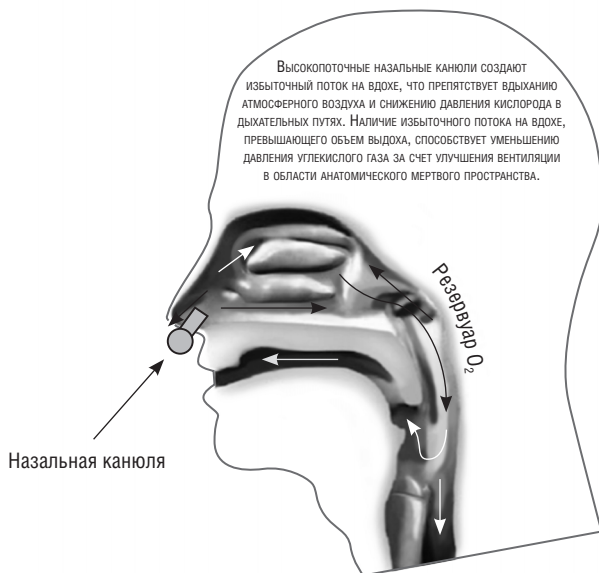


Рис. 51. Канюля высокого потока

Таблица 23

### Скорость потока воздушной смеси в зависимости от возраста пациента

Возраст	Масса тела, кг	Скорость потока, л/мин
Менее 30 дней	3–5	0,6
1 мес — 1 год	5–10	0,5

Окончание табл. 23

Возраст	Масса тела, кг	Скорость потока, л/мин
1–7 лет	10–27	0,4
8–14 лет	20–40	0,3
Более 14 лет	Более 40	0,2

## 5.2. НЕИНВАЗИВНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов респираторной поддержки является неинвазивная вентиляция легких, под которой подразумевают проведение ИВЛ без интубации трахеи.

Выделяют четыре разновидности неинвазивной вентиляции:

- с постоянным положительным давлением в ДП;
- с двухфазным положительным давлением в ДП;
- вентиляция с поддержкой давлением;
- вентиляция, контролируемая по давлению.

### *Постоянное положительное давление в дыхательных путях*

Постоянное положительное давление в ДП — это способ вентиляции, при котором давление в конце выдоха превышает атмосферное, что позволяет увеличить объем, ФОЕ легких и существенно улучшить оксигенацию. Преимущества метода обусловлены следующими механизмами:

- увеличением объема и ФОЕ легких, улучшением вентиляционно-перфузионного соотношения;
- профилактикой ателектазирования и вовлечением в газообмен спавшихся альвеол;
- уменьшением работы дыхания и предотвращением усталости дыхательных мышц;
- нормализацией частоты дыхания за счет «шинирования» грудной клетки.

CPAP-терапию не стоит использовать у пациентов с высоким риском прогрессирования респираторного дистресс-синдрома, приступами апноэ длительностью более 20 с или периодически повторяющимися апноэ с брадикардией. Данный метод респираторной поддержки также категорически противопоказан при неадекватном спонтанном дыхании различного генеза и гиперкапнии ( $p_a\text{CO}_2 > 50$  мм рт.ст.).

*Двухфазное положительное давление в дыхательных путях*

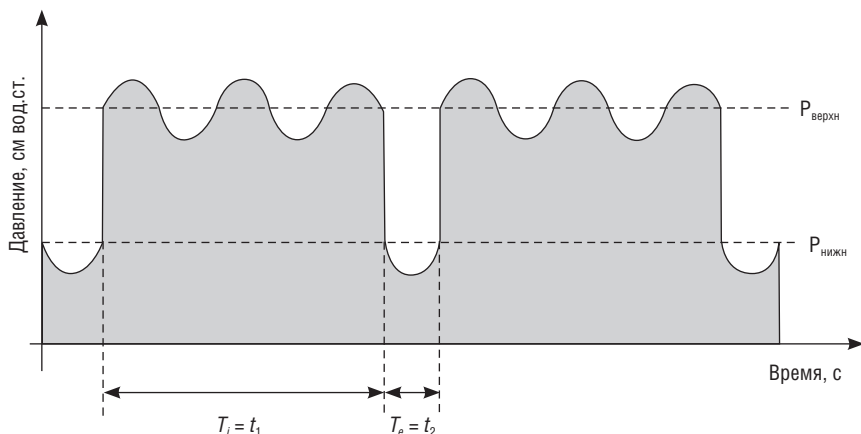
В отличие от СРАР при использовании режима ВІРАР (bilevel positive airway pressure) устанавливаются два уровня постоянного положительного давления — на вдохе и на выдохе с последующей поддержкой на фоне самостоятельного дыхания пациента (рис. 52).

Данная методика, будучи разновидностью вентиляции с контролем по давлению, позволяет пациенту осуществлять самостоятельное дыхание в любой момент дыхательного цикла.

Для поддержания адекватной оксигенации и вентиляции у детей, у которых риск развития острой гипоксемической дыхательной недостаточности очень высок, но необходимость в инвазивной ИВЛ отсутствует, показано использование таких методов неинвазивной вентиляции, как СРАР и ВІРАР через носовые канюли или лицевую маску. Их основной терапевтический эффект заключается в улучшении оксигенации и снижении работы дыхания. Причем данные методы достаточно хорошо переносятся детьми и не угнетают собственное дыхание пациента.

Аппараты для неинвазивной ИВЛ просты в использовании, легко подключаются, обеспечивают свободный доступ к ДП и ротовой полости, а также улучшают визуализацию лица пациента.

Следует отметить, что методы неинвазивной вентиляции показаны только на ранних стадиях ОРДС, при этом предпочтительным является СРАР. В случае прогрессирования синдрома необходимо выполнение интубации трахеи и ИВЛ с использованием аппаратов искусственного дыхания (респираторов).



**Рис. 52.** Двухфазное положительное давление в дыхательных путях:  $T_i$  — время вдоха,  $T_e$  — время выдоха

Особенности проведения ИВЛ с поддержкой давлением и вентиляцией, контролируемой по давлению, детально описаны ниже, поскольку они ничем не отличаются по своим характеристикам как при неинвазивной, так и при инвазивной ИВЛ, за исключением необходимости интубации трахеи во втором случае.

### 5.3. ИНВАЗИВНАЯ ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ

Искусственная вентиляция легких — метод интенсивной терапии, основной целью которого является частичное или полное замещение функции внешнего дыхания.

В настоящее время выделяют два типа ИВЛ: конвекционную (традиционную) и высокочастотную. Независимо от метода ИВЛ основная ее цель — поддержание адекватных оксигенации и газообмена, что достигается путем транспорта кислорода и элиминации углекислого газа.

Существует множество классификаций ИВЛ, но, по нашему мнению, в клинической практике наиболее целесообразно использовать характеристику конвекционной вентиляции, основанную на наличии дыхательной активности у пациента с подробным указанием всех параметров ИВЛ. Именно такой подход взят за основу в классификации Роберта Чатбурна.

Представленная на рис. 53 классификация Р. Чатбурна считается общепризнанной и широко используется специалистами в области медицины критических состояний.

Согласно схеме при описании режима ИВЛ следует подробно охарактеризовать паттерн дыхания — принцип управления вдохом и способы их согласования (Breath Sequence + Control Variable), а также особенности вентиляционной стратегии. К ним можно отнести вентиляцию с гарантированным минутным объемом дыхания и др.

Только полностью описанный паттерн дыхания отражает характер респираторной поддержки, в то время как широко используемые аббревиатуры «режимов» ИВЛ (SIMV, ACV, ASV) являются, по сути, лишь зарегистрированным коммерческим «именем» технических опций аппарата того или иного производителя.

Под принудительной (управляемой) вентиляцией легких подразумевают такой режим ИВЛ, при котором попытки самостоятельного дыхания у пациента отсутствуют. Аппарат генерирует повторные принудительные вдохи с установленными частотой и объемом, при этом синхронизация с собственными вентиляционными усилиями пациента отсутствует.

При тяжелой сердечно-сосудистой и респираторной патологии единственным вариантом ИВЛ может быть управляемая механическая

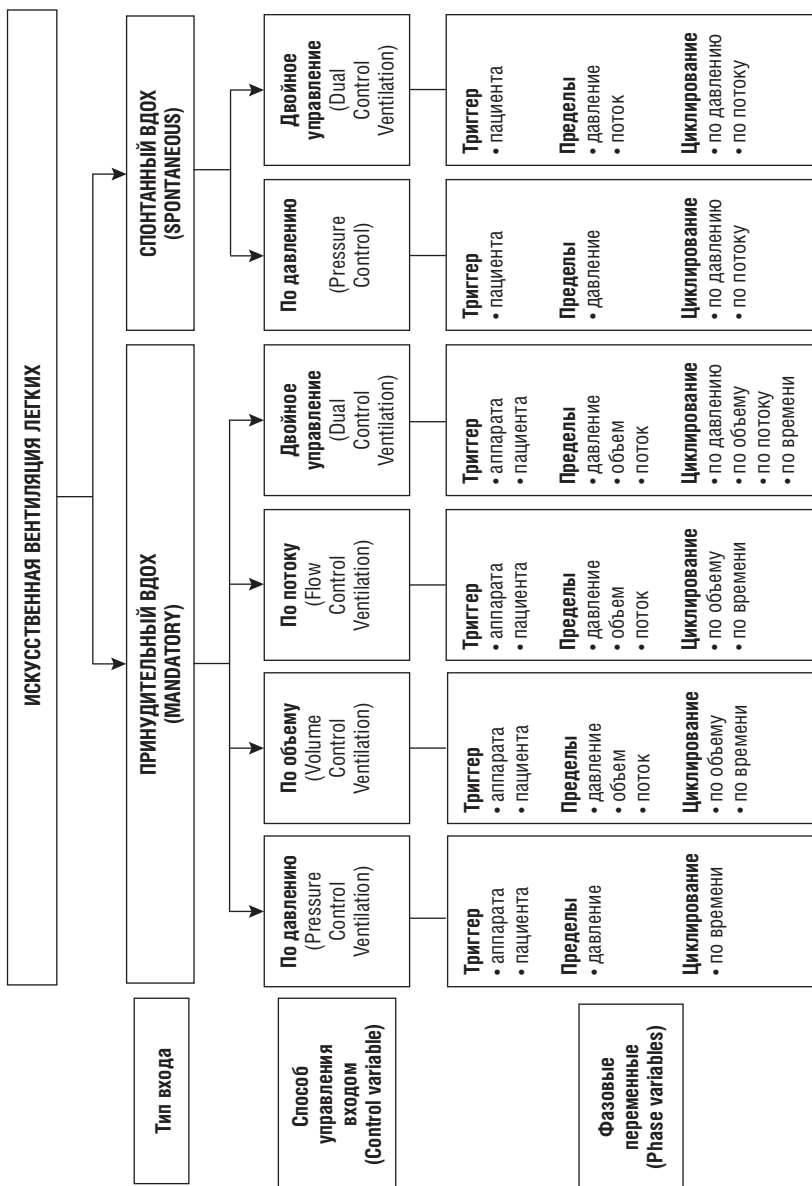


Рис. 53. Классификация искусственной вентиляции легких Р. Чатбурна



вентиляция. Она особенно уместна при респираторной недостаточности нейромышечного генеза, эпилептическом статусе и при острой церебральной недостаточности, когда необходимо устранить или предотвратить развитие внутричерепной гипертензии.

При вспомогательной вентиляции вентилятор обеспечивает принудительный вдох, который может быть инициирован как пациентом, так и аппаратом, в зависимости от заданных установок вентиляции. Обязательным условием ее проведения является способность пациента к спонтанной дыхательной активности и наличие специального устройства в аппарате (триггера), распознающего дыхательные попытки пациента. При правильно подобранных параметрах вспомогательного ИВЛ дыхательные попытки пациента и аппаратные принудительные вдохи синхронизированы.

В основу работы современных аппаратов конвекционной ИВЛ (positive pressure ventilation) положены четыре физические характеристики:

- 1) поток (flow) — скорость изменения объема;
- 2) давление (pressure) — сила, приложенная к единице площади;
- 3) время (time) — мера длительности и последовательности явлений;
- 4) объем (volume) — мера пространства.

Эти характеристики и отражают режим вентиляции, определяющий, каким именно образом аппарат обеспечивает искусственное дыхание.