

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Предисловие к первому изданию	6
Список сокращений и условных обозначений	8
Глава 1. Исторические вехи респираторной поддержки	10
Глава 2. Анатомо-физиологические особенности дыхательной системы у детей	18
Глава 3. Клиническая физиология дыхания	24
3.1. Внешнее дыхание	25
3.2. Транспорт газов кровью	60
3.3. Тканевое дыхание	64
Глава 4. Характеристика аппаратов искусственной вентиляции легких	65
Глава 5. Основные характеристики методов респираторной поддержки в педиатрии	70
5.1. Оксигенотерапия	70
5.2. Неинвазивная искусственная вентиляция легких	79
5.3. Инвазивная искусственная вентиляция легких	81
Глава 6. Искусственная вентиляция легких при респираторном дистресс-синдроме	84
Глава 7. Искусственная вентиляция легких при обструктивном синдроме ...	92
Глава 8. Искусственная вентиляция легких при аспирационном синдроме	95
Глава 9. Искусственная вентиляция легких при острой церебральной недостаточности	97
Глава 10. Искусственная вентиляция легких при травме грудной клетки	99
Глава 11. Искусственная вентиляция легких при врожденных пороках сердца	101
Глава 12. Неинвазивная искусственная вентиляция легких	110
Глава 13. Искусственная вентиляция легких у новорожденных	120
13.1. Принципиальные отличия дыхательной системы новорожденного	120
13.2. Особенности инвазивной искусственной вентиляции легких	120
13.3. Особенности респираторной поддержки при респираторном дистресс-синдроме новорожденных	122
13.4. Особенности респираторной поддержки при аспирационном синдроме	127

13.5. Особенности респираторной поддержки при синдроме утечки воздуха	136
13.6. Особенности неинвазивной искусственной вентиляции легких у новорожденных	139
Глава 14. Респираторная поддержка при персистирующей легочной гипертензии новорожденных	170
Глава 15. Основы высокочастотной вентиляции легких	183
Глава 16. Отлучение от инвазивной вентиляции легких	189
Глава 17. Вентилятор-ассоциированная пневмония	197
Глава 18. Графический мониторинг респираторной поддержки	211
Глава 19. Увлажнение и согревание дыхательной смеси	217
Глава 20. Санация трахеобронхиального дерева	222
Глава 21. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в педиатрии	224
21.1. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у новорожденных	224
21.2. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у детей старшего возраста	228
Глава 22. Интенсивная терапия заболеваний органов дыхания	234
22.1. Инородное тело верхних дыхательных путей	236
22.2. Острый эпиглоттит	237
22.3. Обструктивный ларингит	239
22.4. Острый бронхолит	245
22.5. Бронхиальная астма и астматический статус	249
22.6. Внебольничная пневмония	260
22.7. Дыхательная недостаточность	264
Глава 23. Респираторная поддержка при хронической дыхательной недостаточности	272
Список литературы	280
Приложение	287

Aegroto dum anima est spes esse dicitur.

(Пока у больного есть дыхание, есть и надежда.)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Глубокоуважаемые коллеги, друзья!

Предлагаем вашему вниманию второе издание книги «Респираторная поддержка при критических состояниях в педиатрии и неонатологии», которая увидела свет в 2020 г. и стала обновленной версией книги «Респираторная поддержка у детей», впервые опубликованной профессором Ю.С. Александровичем с соавторами в 2009 г.

Подготовка второго издания руководства обусловлена тем, что за последние четыре года появились новые данные, позволяющие более осмысленно подойти к проблеме интенсивной терапии дыхательной недостаточности у детей, в 2022 г. опубликованы обновленные Европейские рекомендации по лечению респираторного дистресс-синдрома у новорожденных, а в феврале 2023 г. стали доступны Американские рекомендации по диагностике и интенсивной терапии острого респираторного дистресс-синдрома у детей 2-го пересмотра (Second Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference, PALICC-2), которые по ряду положений отличаются от предыдущих, значимых для клинической практики.

В настоящем издании существенно дополнены, изменены и исправлены главы, посвященные лечению острого респираторного дистресс-синдрома у детей старшего возраста, искусственной вентиляции легких в неонатальной практике, отлучению от инвазивной искусственной вентиляции легких, особенностям интенсивной терапии заболеваний органов дыхания. Появились новые главы «Респираторная поддержка при персистирующей легочной гипертензии новорожденных» и «Респираторная поддержка при хронической дыхательной недостаточности».

В главе «Респираторная поддержка при хронической дыхательной недостаточности» представлены современные рекомендации по диагностике и лечению хронических нарушений газообмена, описаны наиболее частые причины и ключевые звенья патогенеза тяжелой гипоксемической и гиперкапнической дыхательной недостаточности, предложены алгоритмы выбора тактического решения в различных клинических ситуациях.

Издание носит прикладной характер и направлено на максимальное быстрое принятие клинического решения непосредственно у постели пациента.

Тот, кто работает руками, — рабочий.
Тот, кто работает руками и головой, — мастер.
Тот, кто работает руками, головой и сердцем, — художник.
Франциск Ассизский

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее руководство для врачей является вторым изданием книги «Респираторная поддержка у детей», которая увидела свет в 2009 г. С момента ее издания прошло уже десять лет. Появились новые клинические рекомендации по интенсивной терапии заболеваний легких и острого респираторного дистресс-синдрома, стало доступным широкое использование неинвазивных режимов респираторной поддержки в клинической практике, применение которой в настоящее время возможно не только в неонатальном периоде, но и у детей старшего возраста. Все перечисленное стало основной причиной публикации второго издания.

Существенное отличие этого издания от первой книги заключается в том, что в нем более детально описаны клиническая физиология и патофизиология респираторной поддержки, особое внимание уделено прикладным аспектам анатомо-физиологических особенностей дыхательной системы у детей.

Представлены достаточно четкие характеристики и возможности различных аппаратов искусственной вентиляции легких, даны рекомендации по выбору аппарата искусственной вентиляции легких и подготовке его к работе. Детально описаны основные характеристики современных видов респираторной поддержки и особенности ее применения у детей.

Авторы попытались дать конкретные советы по принятию решения о необходимости проведения инвазивной искусственной вентиляции легких, подбору стартовых параметров искусственной вентиляции легких и уходу от респираторной поддержки при наиболее распространенных заболеваниях, сопровождающихся нарушениями газообмена и гипоксией.

Многолетний опыт преподавания вопросов респираторной терапии на факультете последипломного образования и частые бурные дискуссии с коллегами стали причиной появления глав, посвященных современным принципам неинвазивной искусственной вентиляции легких, профилактики, диагностике и лечению вентилятор-ассоциированных инфекций, стратегиям экстракорпоральной мембранной оксигенации, которые в настоящее время широко используются во всем в мире — не только как «терапия отчаяния», но и как метод лечения, позволяющий обеспечить

стабилизацию пациента, находящегося в критическом состоянии, и выиграть время.

Авторы не ставили перед собой задачу написать фундаментальное руководство, основной их целью было предложить практикующим врачам максимально необходимую информацию, которую можно использовать непосредственно у постели пациента для принятия своевременного, рационального, патогенетически обоснованного и взвешенного решения.

Стоит отметить, что респираторная поддержка — это совокупность знаний и умений, а также тонкая интуиция врача вместе с искренним желанием помочь пациенту. Искусство врача заключается в умелом применении ключевых принципов физиологии и патофизиологии с учетом индивидуальных особенностей течения заболевания. Сочетание многолетних традиций отечественной клинической медицины, основным девизом которой было *Alus aegroti suprema lex* («Благо больного превыше всего»), с новейшими медицинскими технологиями и современными знаниями позволит как сохранить жизнь и не навредить ребенку, так и создать оптимальные условия для максимально быстрого саногенеза и выздоровления.

Предлагаем вниманию читателя одно из немногих пособий, вобравших практические рекомендации по респираторной поддержке при критических состояниях у детей, носящие прикладной характер и направленные на максимально быстрое принятие клинического решения. Авторы с искренней благодарностью примут все замечания и пожелания своих коллег.

Наш адрес: 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., 2, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, кафедра анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального образования. E-mail: Psh_k@mail.ru (Константин Викторович Пшениснов).

ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ ПРИ РЕСПИРАТОРНОМ ДИСТРЕСС-СИНДРОМЕ

Острый респираторный дистресс-синдром — одна из основных причин летальных исходов в педиатрических ОРИТ.

Согласно многочисленным исследованиям, частота ОРДС у детей в США, Европе, Австралии и Новой Зеландии составляет 2,0–12,8 на 100 тыс. детей в год. Несмотря на то что встречаемость ОРДС в детской популяции сравнительно ниже по сравнению со взрослыми, летальность при развитии ОРДС у детей также крайне высока и составляет 18–27%, а в ряде стран даже достигает показателей взрослых — 35%. Чаще всего летальные исходы наступают у детей с тяжелыми сопутствующими заболеваниями (López-Fernández Y. et al., 2012; López-Fernández Y.M. et al., 2020; Schneider N., Johnson M., 2022; Pujari C.G. et al., 2022).

L.R. Schouten и соавт. (2016) полагают, что частота встречаемости и летальность при ОРДС не изменились за последние 20 лет, при этом летальность зависит от географических особенностей страны, где проводилось исследование.

Наиболее часто ОРДС, как у взрослых, так и у детей, развивается у пациентов мужского пола, однако различия в летальности в зависимости от гендерной принадлежности отсутствуют (Zimmerman J.J. et al., 2009).

Летальные исходы, обусловленные прогрессированием ОРДС, составляют около 38,5% летальности стационара, причем показатели увеличиваются с возрастом. Основным фактором развития ОРДС, как у взрослых, так и у детей, — сепсис, который наблюдается в 79% случаев (Rubenfeld G.D. et al., 2005; Prasertsan P. et al., 2023).

По данным R.G. Khemani и соавт. (2019), ОРДС развивается у 3% пациентов педиатрических ОРИТ, при этом наличие рефрактерной гипоксемии ассоциируется с высокими показателями летальности, которая может достигать 30%. Факторами риска являются наличие тяжелых сопутствующих заболеваний, характер и особенности течения основного патологического процесса, явившегося причиной развития ОРДС. Ключевым пусковым механизмом ОРДС у детей является неспецифическое поражение легких, что свидетельствует о гетерогенной природе синдрома. Клинически значимым фактором, влияющим на течение заболевания, вероятно, является возраст пациента.

Таблица 6.1

Критерии диагностики острого респираторного дистресс-синдрома у детей

Признак	Описание	
Возраст	Исключаются пациенты с перинатальным поражением легких	
Время развития	В течение 7 дней от момента начала заболевания	
Причина отека легких	Респираторные нарушения, которые не могут быть полностью объяснены сердечной недостаточностью или перегрузкой объемом	
Рентгенологические изменения	Инфильтративные изменения, связанные с острым поражением легочной паренхимы	
Оксигенация	Неинвазивная ИВЛ	
	$p_aO_2/FiO_2 \leq 300$ или $S_pO_2/FiO_2 \leq 250$	
Оценка степени тяжести*	Легкий/средней степени тяжести	Инвазивная ИВЛ
	Тяжелый	$OI \geq 4$ или $OSI \geq 5$
	$p_aO_2/FiO_2 \geq 100$ или $S_pO_2/FiO_2 \geq 150$ $p_aO_2/FiO_2 \leq 100$ или $S_pO_2/FiO_2 \leq 150$	Легкий/средней степени тяжести $OI \leq 16$ или $OSI \leq 12$ $OI \geq 16$ или $OSI \geq 12$
ВПС, сопровождающиеся цианозом	Ухудшения оксигенации не связаны с ВПС синего типа	
Хронические заболевания легких	Ухудшение оксигенации по сравнению с исходными показателями	

* Осуществляют спустя 4 ч после первичной диагностики ОРДС.

Примечание: ВПС — врожденный порок сердца; ИВЛ — искусственная вентиляция легких; p_aO_2 — напряжение кислорода в артериальной крови; FiO_2 — фракция кислорода в дыхательной смеси; p_aO_2/FiO_2 — индекс Горовица; S_pO_2 — сатурация гемоглобина кислородом пульсирующей крови; OI — индекс оксигенации; OSI — сатурационный индекс оксигенации.

Таблица 6.2

Критерии риска развития острого респираторного дистресс-синдрома у детей

Признак	Описание	
Возраст	Исключаются пациенты с перинатальным поражением легких	
Время развития	В течение 7 дней от момента начала заболевания	
Причина отека легких	Респираторные нарушения, которые не связаны с сердечной недостаточностью и перегрузкой объемом	
Рентгенологические изменения	Инфильтративные изменения, связанные с острым поражением легочной паренхимы	
Оксигенация	Неинвазивная респираторная поддержка с помощью назальных канюль (пСРАР или пViРАР, канюли высокого потока: $\geq 1,5$ л/кг в минуту или ≥ 30 л/мин)	Любой способ доставки кислородно-воздушной смеси
	$p_aO_2/FiO_2 \leq 300$ или $S_pO_2/FiO_2 \leq 250$	Необходима дотация кислорода для поддержания $S_pO_2 > 88\%$ при отсутствии указанных выше критериев ОРДС
ВПС, сопровождающиеся цианозом	Ухудшения оксигенации не связаны с ВПС синего типа	
Хронические заболевания легких	Ухудшение оксигенации по сравнению с исходными показателями	

Примечание: ВПС — врожденный порок сердца; ОРДС — острый респираторный дистресс-синдром; p_aO_2 — напряжение кислорода в артериальной крови; FiO_2 — фракция кислорода в дыхательной смеси; S_pO_2 — сатурация гемоглобина кислородом пульсирующей крови; пСРАР — постоянное положительное давление в дыхательных путях, создаваемое с помощью назальных канюль; пViРАР — давление поддержки на вдохе и выдохе, создаваемое с помощью назальных канюль.

Критерии диагностики ОРДС и риска его развития у детей представлены в табл. 6.1 и 6.2.

Ключевые аспекты патофизиологии:

- 1) повышение проницаемости альвеолярно-капиллярной мембраны;
- 2) значительное снижение комплаенса дыхательной системы;
- 3) выраженный дефицит сурфактанта;
- 4) формирование внутрилегочного шунта;
- 5) интерстициальный некардиогенный отек легких;

- 6) нарушение вентиляционно-перфузионных отношений, уменьшение объема минутной вентиляции, уменьшение ФОЕ легких;
- 7) гипоксемия тяжелой степени, рефрактерная к оксигенотерапии.

Показания для интубации и искусственной вентиляции легких:

- 1) расстройства сознания на фоне прогрессирования гипоксемии (у детей эквивалентом этого может быть выраженное психомоторное возбуждение);
- 2) цианоз и выраженный гипергидроз кожи;
- 3) выраженное тахипноэ, появление участков ослабленного дыхания при аускультации легких;
- 4) выраженная гипоксемия ($p_aO_2 < 60$ мм рт.ст.);
- 5) выраженная гиперкапния ($p_aCO_2 > 60$ мм рт.ст.).

Косвенные признаки ранней стадии ОРДС и показания для интубации трахеи:

- 1) снижение напряжения кислорода в венозной крови (p_vO_2) менее 30 мм рт.ст.;
- 2) снижение насыщения венозной крови кислородом (S_vO_2) менее 60%.

При решении вопроса об интубации трахеи особое внимание необходимо уделять не оценке газового состава и кислотно-основного состояния (КОС) артериальной крови, поскольку они могут быть компенсированы, а степени выраженности **клинических проявлений** дыхательной недостаточности.

Следует помнить, что гиперкапния — признак поздней стадии ОРДС, поэтому решение о необходимости респираторной поддержки следует принимать на основе клинических данных.

Основной принцип при принятии решения об интубации трахеи у пациентов с ОРДС: **«плохо не то, что больного перевели на ИВЛ, а то, что сделали это с опозданием»** (Марино П., 1996).

В качестве примера приведем клинический случай развития ОРДС с компенсированными показателями газового состава и КОС крови на фоне выраженной дыхательной недостаточности.

«Ребенок, 6 мес, заболел остро, стал отказываться от груди, появились смешанная одышка и цианоз, в связи с чем родители обратились в стационар. При поступлении в стационар состояние ребенка тяжелое. Сознание ясное, отмечается вялость. Острая менингеальная и очаговая неврологическая симптоматика отсутствует. Не лихорадит, температура тела нормальная. Наблюдается тахикардия, частота сердечных сокращений — 160 в минуту, артериальное давление — 80/50 мм рт.ст. Дыхание затруднено, выраженная смешанная одышка, втяжение уступчивых мест грудной клетки, участие в акте дыхания вспомогательной мускулатуры. Частота дыхания — 50 в минуту, центральный цианоз. S_pO_2 на фоне дотации кислорода со скоростью потока 5 л/мин — 95%, без дотации кислорода S_pO_2 — 88%. При аускультации легких

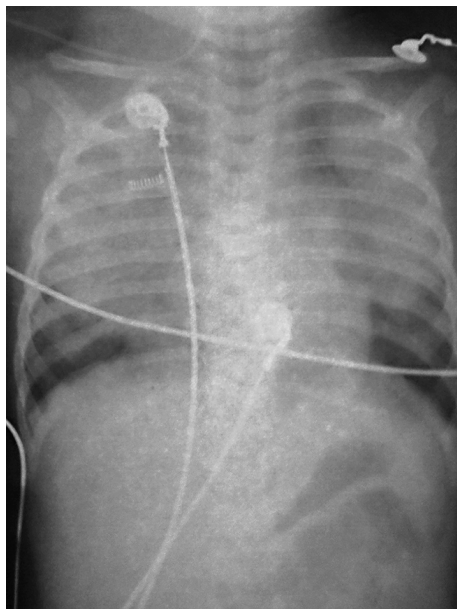


Рис. 6.1. Рентгенограмма пациента с острым респираторным дистресс-синдромом

дыхание жесткое, равномерно ослаблено с двух сторон, хрипов нет. Со стороны внутренних органов без особенностей. На рентгенограмме органов грудной клетки отмечается инфильтрация верхней и средней долей правого легкого, инфильтрация верхней доли левого легкого (рис. 6.1).

В клиническом анализе крови уровень гемоглобина — 97 г/л, эритроцитов — $4,3 \times 10^{12}$ /л, гематокрит — 0,32 л/л; уровень лейкоцитов — 12×10^9 /л, тромбоцитов — 227×10^9 /л, глюкозы в крови — 7,1 ммоль/л.

Ребенок переведен в ОРИТ, где начата кислородно-, инфузионная, антибактериальная и муколитическая терапия. В течение первых 8 ч, несмотря на лечение, состояние ребенка оставалось очень тяжелым, нестабильным, прогрессировала гипоксемическая дыхательная недостаточность. По данным газового состава и КОС крови отмечался декомпенсированный смешанный ацидоз, в связи с чем усилена бронхолитическая терапия.

На этом фоне удалось стабилизировать состояние, проявления декомпенсированного смешанного ацидоза регрессировали, в связи с чем от интубации трахеи было решено воздержаться, принято решение о продолжении консервативной терапии. Показатели газового состава и КОС капиллярной крови представлены в табл. 6.3.

В дальнейшем явления дыхательной недостаточности нарастали и ребенок переведен на ИВЛ с «жесткими» параметрами.

Таблица 6.3

Показатели газового состава и кислотно-основного состояния капиллярной крови

Показатель	Анализ 1	Анализ 2	Анализ 3
pH	7,165	7,338	7,358
pCO ₂ , мм рт.ст.	56,9	48,8	46,3
pO ₂ , мм рт.ст.	36	50	48
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	20,5	26,2	26,1
BE, ммоль/л	-8	0	1
SO ₂ , %	53	82	81

Примечание: BE — избыток оснований; pCO₂ — парциальное давление углекислого газа; pO₂ — парциальное давление кислорода.

Цель искусственной вентиляции легких при ОРДС — поддержание оптимального газового состава артериальной крови, устранение гипоксемии, обеспечение нормальной элиминации углекислого газа.

Задачи искусственной вентиляции легких при ОРДС:

- 1) вовлечение в газообмен коллабированных альвеол и ателектазированных участков легких;
- 2) поддержание вентилируемых зон легких в «открытом» состоянии, предотвращение их экспираторного коллабирования;
- 3) предотвращение вентилятор-индуцированного повреждения легких, сохранение функциональной активности непораженных зон легких.

Современные рекомендации по респираторной поддержке при ОРДС

1. В настоящее время отсутствуют рекомендации по применению конкретного паттерна (режима) респираторной поддержки (принудительная или вспомогательная) у пациентов с ОРДС.

2. У детей с ОРДС, нуждающихся в ИВЛ, следует использовать объем вдоха, соответствующий 6–8 мл/кг.

3. С целью снижения агрессивности параметров респираторной поддержки при тяжелом течении оправдано уменьшение объема вдоха до 4–6 мл/кг.

4. При отсутствии возможности мониторинга транспульмонального градиента давление плато не должно превышать 28 см вод.ст. У пациентов со сниженным комплаенсом грудной клетки допустимо увеличение давления плато до 32 см вод.ст.

5. У пациентов с тяжелым ОРДС рекомендовано умеренное увеличение уровня РЕЕР до 10–15 см вод.ст. под контролем показателей гемодинамики и оксигенации.

6. Увеличение уровня РЕЕР >15 см вод.ст. возможно у пациентов с тяжелым ОРДС, при этом все усилия должны быть направлены на снижение давления плато. **Данная стратегия категорически противопоказана пациентам с тяжелой черепно-мозговой травмой в структуре поли-травмы.**

7. При проведении конвекционной ИВЛ у пациентов с ОРДС необходимо использовать интубационные трубки с манжетками.

8. При проведении ИВЛ у пациентов с легкой формой ОРДС и уровнем РЕЕР <10 см вод.ст. показатели S_pO_2 следует поддерживать в диапазоне 92–97%.

9. Уровень S_pO_2 в диапазоне 88–92% после оптимизации РЕЕР допустим лишь в тех случаях, когда показатели РЕЕР ≥ 10 см вод.ст.

10. При показателях $S_pO_2 < 92\%$ необходим мониторинг сатурации центральной венозной крови и показателей кислородного статуса.

11. Рекомендовано использование методики перmissive гиперкапнии при среднетяжелом и тяжелом течении ОРДС с целью минимизации вентилятор-ассоциированного повреждения легких.

12. Рекомендовано поддерживать значения $pH > 7,2$ для предотвращения повреждения легких. Противопоказания к применению перmissive гиперкапнии включают внутричерепную гипертензию, легочную гипертензию тяжелой степени, врожденные пороки сердца, нестабильность показателей гемодинамики и значительную дисфункцию желудочков.

13. Рутинное применение натрия гидрокарбоната не показано.

Стартовые параметры искусственной вентиляции легких

1. Оптимальный вариант респираторной поддержки — конвекционная ИВЛ с двойным управлением вдохом (управление по давлению, контроль ДО).

2. Фракция кислорода в дыхательной смеси (FiO_2) — 0,6.

3. ДО — 4–6 мл/кг.

4. Скорость потока — 5–7 объемов физиологической минутной вентиляции.

5. Минимально необходимая частота дыхания с целью устранения гипоксемии.

6. Минимизация времени вдоха.

7. Соотношение вдоха к выдоху 1:2 или 1:1 при необходимости высокой частоты дыхания.

8. Максимально допустимое пиковое давление в ДП — 30 см вод.ст.

9. Положительное давление в конце выдоха — 6–8 см вод.ст.

10. При достижении критических значений среднего давления в ДП целесообразно снижение скорости потока и ДО.

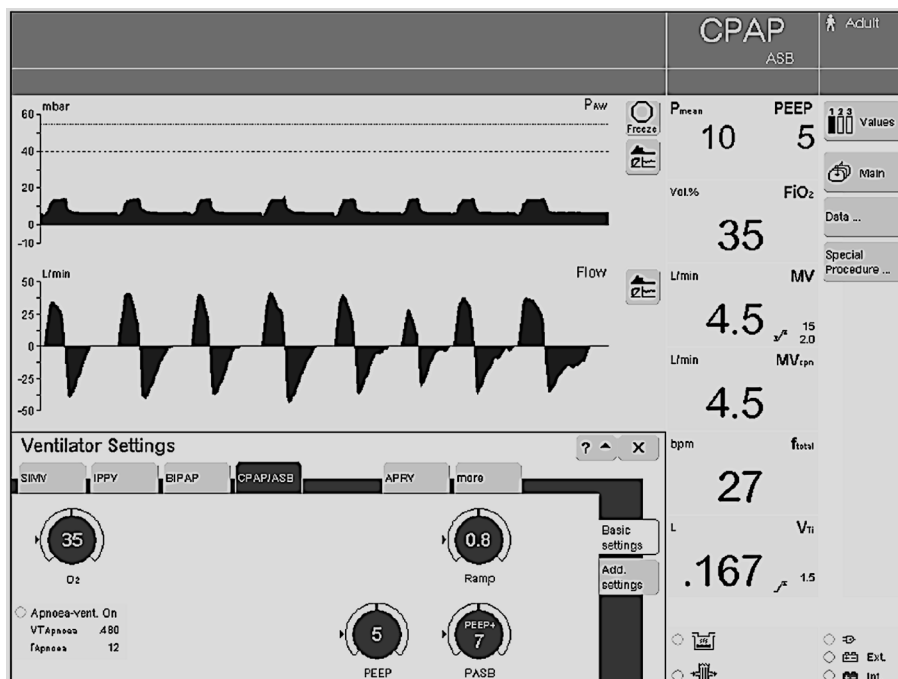


Рис. 6.2. Скорость нарастания давления поддержки

11. Синхронизации пациента с аппаратом ИВЛ достигают путем подбора оптимальных параметров респираторной поддержки. Следует избегать медикаментозной седации. Назначение седативных препаратов и миорелаксантов оправдано только после многократно предпринятых попыток подбора комфортных для пациента параметров ИВЛ.

Отлучение от искусственной вентиляции легких

1. Высокие показатели давления поддержки (pressure support).
2. Высокая скорость нарастания давления поддержки. С этой целью регулируют параметры Ramp (Evita-XL), или Rise time (Servo-i), или Flow rise (Puritan Bennett-840) (рис. 6.2).

3. Оптимальный вариант триггера — триггер по потоку.

4. Высокие значения триггера подбирают индивидуально, исходя из потребностей пациента.

5. Основной принцип отлучения пациентов с ОРДС от ИВЛ — постепенное, очень медленное снижение параметров.