

УДК 615.816.2+616-083.98-053.36+612.216.2/.3+616.24-008.44  
DOI: 10.56871/RBR.2022.18.89.017

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕМНО-ЦЕЛЕВОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ У ДЕТЕЙ С БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ДИСПЛАЗИЕЙ

© Павел Иванович Миночкин<sup>1</sup>, Александр Сергеевич Ткаченко<sup>1</sup>,  
Ирина Владимировна Боронина<sup>2</sup>, Матвей Андреевич Кулев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сургутский государственный университет. 628412, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

<sup>2</sup> Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко. 394036, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Студенческая, д. 10

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический университет. 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

**Контактная информация:** Павел Иванович Миночкин — д.м.н., доцент, профессор кафедры хирургических болезней.

E-mail: pavelmin@mail.ru

Поступила: 17.07.2022

Одобрена: 23.09.2022

Принята к печати: 18.11.2022

**Резюме.** Проблемам длительной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) у детей первого года жизни, имеющих диагноз бронхолегочной дисплазии (БЛД), по данным литературы, уделено недостаточно внимания. В связи с улучшением оказания помощи на перинатальном уровне число таких детей неизменно растет, данная группа пациентов является определяющей в развитии инвалидизации и младенческой смертности. Нами были изучены 79 пациентов грудного возраста с БЛД, находящихся на длительной ИВЛ. Для проведения ИВЛ применяли режим SIMV-VC с нисходящей формой кривой потока. Выявлены параметры ИВЛ: Vt 11(8–13) мл/кг, PIP 29(25–32) H<sub>2</sub>O, PEEP 8(729), частота дыхания — 24(20–30) циклов/мин, которые выходят за границы допустимых безопасных значений, но хорошо переносятся детьми данной группы. Применяемый режим проведения ИВЛ можно считать эффективным и безопасным для детей, находящихся на длительной вентиляции легких.

**Ключевые слова:** длительная вентиляция легких; новорожденные дети; бронхолегочная дисплазия; вентиляция с целевым объемом вдоха.

## EFFICIENCY AND SAFETY OF VOLUME-TARGETED LUNG VENTILATION IN INFANTS WITH BRONCHOPULMONARY DYSPLASIA

© Pavel I. Minochkin<sup>1</sup>, Alexander S. Tkachenko<sup>1</sup>, Irina V. Boronina<sup>2</sup>, Matvey A. Kulev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Surgut State University. 628412, Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, Surgut, Lenin Ave., 1

<sup>2</sup> Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko. 394036, Voronezh region, Voronezh, st. Student, 10

<sup>3</sup> Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

**Contact information:** Pavel I. Minochkin — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Surgical Diseases.

E-mail: pavelmin@mail.ru

Received: 17.07.2022

Revised: 23.09.2022

Accepted: 18.11.2022

**Abstract.** According to the literature, not enough attention is paid to the problems of long-term ventilation in infants with bronchopulmonary dysplasia. As perinatal care has improved, the number of such children has steadily increased, this group of patients is decisive in the development of disability and infant mortality. We studied 79 infants who retrospectively, with bronchopulmonary dysplasia on a long-term ventilation. We used SIMV-VC mode with a downward form of flow waveform. The ventilator parameters: Vt 11(8–13) ml/kg, PIP 29(25–32) cm H<sub>2</sub>O, PEEP 8(7–9) cm H<sub>2</sub>O, ventilator rate — 24(20–30) inflation/min, that go beyond the limits of acceptable safe values, but are well tolerated by children of this group, we identified. The applied ventilator mode can be considered effective and save for children with bronchopulmonary dysplasia and are on long-term ventilation.



**Key words:** long-term lung ventilation; newborn children; multiple organ failure; bronchopulmonary dysplasia; target volume of ventilation.

## ВВЕДЕНИЕ

Большое количество исследований в последние годы посвящено профилактике легочного повреждения у новорожденных детей и снижению риска развития бронхолегочной дисплазии (БЛД) [1–3, 5, 8]. Однако проблемам длительной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) у детей грудного возраста с диагнозом БЛД уделяется мало внимания [6]. Несмотря на значительные успехи в современной неонатологии по выхаживанию новорожденных высокого риска, особенно экстремально недоношенных детей, распространенность БЛД среди детей, находящихся на длительной ИВЛ, только растет [4]. В определенной степени это обусловлено увеличением выживаемости среди недоношенных новорожденных детей. Данная группа детей характеризуется наличием не только респираторного дистресс-синдрома, который, как правило, является основным диагнозом, но и множества коморбидных состояний, таких как асфиксия новорожденных, сепсис, врожденная пневмония, гипоплазия легких, врожденные пороки развития различных органов и систем, тяжелое перинатальное поражение центральной нервной системы, некротизирующий энтероколит, врожденные метаболические синдромы, полиорганная недостаточность [7] и т.д. Все эти заболевания могут протекать с множеством осложнений, которые способны влиять на длительность ИВЛ и развитие БЛД, процесс отлучения от ИВЛ в данной группе больных нельзя разрабатывать единым для всех [12]. Попытки ранней экстубации, как правило, безуспешны, процесс отлучения от ИВЛ затягивается, выставляется диагноз БЛД. Такие пациенты задерживаются на ИВЛ на длительный период. В данной группе пациентов высока частота инвалидизации и летального исхода. Очевидно, что данная группа пациентов требует переоценки основных целей терапии, включающих упор на как можно более раннюю экстубацию в пользу наиболее раннего выявления БЛД и адекватную длительную поддержку пациентов, что является крайне важным для развития легочной ткани и успешного отлучения от ИВЛ.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить эффективность и безопасность ИВЛ с целевым объемом вдоха и с нисходящей формой кривой потока у детей, находящихся на длительной ИВЛ, с установленным диагнозом БЛД.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное исследование 79 детей, поступивших из ближайших перинатальных центров в отделение анестезиологии и реанимации (ОАР) в период с 2017

по 2022 годы с установленным диагнозом БЛД. Критериями включения считали следующие: любой гестационный возраст и масса тела при рождении, длительная ИВЛ с рождения (более 1 месяца). Критерии исключения следующие: врожденные пороки сердца, требующие хирургического вмешательства с применением кардиopleгии и гипотермии, врожденные пороки и тяжелое перинатальное поражение центральной нервной системы, сопровождающиеся значительным неврологическим дефицитом, не способствующим развитию достаточного респираторного драйва у пациента даже после адекватного нейрохирургического вмешательства.

После поступления в ОАР дети находились в режиме ИВЛ A/C по давлению в течение от нескольких минут до нескольких часов, так как во время транспортировки применялся режим IMV по давлению. В этот период выясняется «рабочий» объем вдоха ( $V_t$ ), «рабочий» PIP (пиковое давление вдоха), «лучший» PEEP (положительное давление конца выдоха). Изучается кривая «поток–объем». Подбираются параметры, оптимальные для осуществления полного выдоха. По этой причине данный период времени может варьировать индивидуально в зависимости от клинической ситуации. После этого производится переключение в режим SIMV–VC с нисходящей формой кривой потока. Таким образом, принудительная ИВЛ этого режима проводилась целевым объемом ( $V_t$ ), который изначально устанавливается на уровне 6–8 мл/кг (8–10 мл/кг для более старших детей с тяжелым течением заболевания) [11] и PIP limit (предел пикового давления вдоха) в этих случаях устанавливался достаточно высоким, для того чтобы обеспечить адекватный  $V_t$  без излишних усилий. Несмотря на начальные параметры, при подтверждении недостаточности респираторной поддержки, прежде всего, увеличивали  $V_t$  и PIP limit. Однако, если ребенок реагировал развитием тахипноэ с увеличенной «ценой» дыхания, то показатели PIP и  $V_t$  иногда достигали значений 12–15 мл/кг при использовании низкой ЧД [11]. При использовании PS (поддержка давлением) на спонтанном дыхании уровень PS изначально устанавливался на значениях 10–12 см  $H_2O$  и регулировался для достижения  $V_t$  спонтанных вдохов на значениях 4–6 мл/кг и/или до исчезновения тахипноэ [11].

Начальное значение PEEP устанавливали на уровне 8–10 см  $H_2O$  для поддержки открытыми большими и малыми дыхательными путями в течение всего дыхательного цикла [11]. ЧД принудительных циклов устанавливали на уровне 20–25 вдохов в минуту с временем вдоха 0,5–0,7 с [11]. Форма кривой потока на дисплее аппарата ИВЛ должна показывать подтверждение динамического PEEP, недостаточность экспираторного потока подтверждается неспособностью его вернуться к значению 0 до начала следующего цикла. Если такое явление наблюдается, то время выдоха следует увеличить до тех пор, пока данная проблема не исчезнет, это

может даже привести к снижению ЧД до 15 вдохов в минуту в исключительных случаях [11]. Применение кривых «поток–объем» полезно для распознавания ограничений экспираторного потока на малых объемах вдоха и предполагает необходимость повышения РЕЕР. Альтернативный метод определения оптимального уровня РЕЕР — подбор такого значения, которое приводит к лучшему динамическому комплаенсу и наиболее низкой резистентности дыхательных путей, так называемому «лучшему РЕЕР» [11].

Решение о начале процесса отлучения, как правило, принималось при достижении значительного периода стабильности, адекватных и достаточно длительных прибавок в массу тела и способности реагировать и взаимодействовать с медицинским персоналом.

Если фракция кислорода на вдохе ( $FI_{O_2}$ ) длительно оставалась ниже 0,4 без эпизодов значительных десатураций и отсутствовала легочная гипертензия, это являлось показанием для начала деэскалации респираторной поддержки [11]. Обычным подходом является постепенное снижение целевого  $V_t$ , изменения проводят от одного до двух раз в неделю [11]. Реакция ребенка изучается после любой модификации параметров ИВЛ. Если отмечаются нарастание  $FI_{O_2}$ , усиление механической работы дыхательной мускулатуры, произведенные ранее изменения параметров ИВЛ следует вернуть обратно к исходным значениям, и дальнейший процесс отлучения приостанавливается. Если деэскалация параметров ИВЛ хорошо переносятся ребенком, без значительных «отскоков», процесс отлучения постепенно продолжают, помня о хроническом характере заболевания и возможном обострении на фоне снижения респираторной поддержки, что может усугубить зависимость от ИВЛ. Медленное снижение РЕЕР может чередоваться со снижением  $V_t$  и соответственно PIP [11]. В настоящее время не существует консенсуса относительно параметров готовности к экстубации у младенцев с установленным диагнозом БЛД, но, в общем, они могут быть экстубированы на значительно более высоких параметрах PIP,  $V_t$  и РЕЕР, чем недоношенные новорожденные дети с РДС. Этот подход применяется с целью сократить длительность ИВЛ [11]. О готовности к экстубации судят, проводя тестирование на способность к самостоятельному дыханию, с этой целью снижают до предельного минимума частоту синхронизированных принудительных вдохов (в режиме

SIMV) и оставляют ребенка на PS в режиме спонтанного триггирования вдохов самим пациентом достаточно длительно (от нескольких часов до суток и более) [11].

Далее может понадобиться режим NCPAP или другой метод неинвазивной респираторной поддержки, например высокопоточная назальная респираторная поддержка (HFNC) [10–12]. Мы используем технологию NCPAP после экстубации, выбираем значение РЕЕР на уровне MAP до экстубации, обычно это 7–10 см  $H_2O$ , но, по литературным данным, даже РЕЕР на уровне 10–15 довольно эффективен и хорошо переносится подобными пациентами [11].

Статистическая обработка материала проведена с использованием лицензионного пакета прикладных программ STATISTICA 10 (StatSoft, США). В качестве порогового уровня статистической значимости принято значение 0,05. Количественные данные представлены в формате Me (UQ–LQ) — медиана, верхний и нижний квартили (25–75 перцентили). Для сравнения количественных данных в группе новорожденных в динамике использован метод Вилкоксона. Для сравнения качественных признаков использовался метод Фишера.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая характеристика изучаемой группы пациентов представлена в таблице 1. Как видно из этой таблицы, медиана постменструального гестационного возраста изучаемой группы пациентов составила 26 недель с нижним квартилем 25 недель и верхним квартилем 28 полных недель, минимальное значение составило 23 недели гестации, максимальное — 40 недель. Медиана массы тела при рождении составила 940 грамм, нижний квартиль 692 грамма и верхний квартиль 1110 грамм, минимальная масса тела при рождении составила 450 грамм. Детей с экстремально низкой массой тела (ЭНМТ) оказалось 50 пациентов (64,1%), с очень низкой массой тела при рождении (ОНМТ) — 18 пациентов (23,1%), с низкой массой тела при рождении (НМТ) — 10 пациентов (12,8%).

Оценка по шкале Апгар менее 3 баллов через 5 минут после рождения отмечалась у 5 пациентов (6,4%), все принадлежали к группе ЭНМТ, однако ни у кого не отмечалось снижение pH крови из пупочной вены ниже 7,0 сразу после рождения. Оценка по шкале Апгар менее 7 баллов, но выше 3, через 5 минут после рождения отмечалась у 37 пациентов

Таблица 1

Клиническая характеристика изучаемой группы пациентов

Параметры	Me (LQ–UQ)	Минимум	Максимум
Гестационный возраст, недели	26 (25–28)	23	40
Масса тела при рождении, г	940 (692–1110)	450	1960
Постнатальный возраст, дни	92 (63–128)	14	311
Длительность ИВЛ, дни	92 (59–162)	30	366
Паритет беременности	3 (2–4)	1	11
Паритет родов	2 (1–2)	1	5

(78,2%). Медиана постнатального возраста при поступлении в отделение ОАР 2-го этапа составила 92 дня с минимальным значением 14 дней и максимальным значением 311 дней.

Аntenатальная стероидная профилактика РДС проводилась в 63 случаях (80,7%). Сурфактант после рождения применялся в 73 случаях (93,6%). У 13 (16,6%) пациентов на рентгенографии грудной клетки кроме признаков тяжелого БЛД выставлялся еще и фиброз легких. Все пациенты имели признаки синдрома Иценко–Кушинга, так как всем проводили периодически курсы стероидной терапии БЛД дексаметазоном.

Медиана длительности проведения ИВЛ составила 92 дня с минимальным значением 30 дней и максимальным — 366 дней. Высоочастотная ИВЛ непродолжительный период применялась в трех случаях (3,8%), основной метод — традиционная ИВЛ. В одном случае была установлена трахеостома в возрасте 6 месяцев. В одном случае развился стеноз трахеи. НСРАР применялся до начала традиционной ИВЛ в 10 случаях (12,8%), после экстубации применялся в 25 случаях (32%). Кофеин получали 70 пациентов (89,7%).

Абдоминальные хирургические вмешательства проведены в 13 случаях, что составило 16,6%. Оперативная перевязка открытого артериального протока проведена в 7 случаях (8,9%). Лазерокоагуляция сетчатки проведена в одном случае. По нозологической структуре (табл. 2) наиболее распространенными заболеваниями оказались РДС (98,7%) и БЛД (100%), сепсис встречался с частотой 35,9%, некротизирующий энтероколит — в 12,8%.

Из осложнений наиболее часто встречались анемия (100%), неврологические осложнения (суммарно до 78,2%), кардиопатия (20,5%) и ретинопатия недоношенных (38,3%).

Таблица 2

**Нозологическая структура**

Заболевания	Абс. (%)
Респираторный дистресс-синдром	77 (98,7)
Бронхолегочная дисплазия	78 (100)
Сепсис	28 (35,9)
Некротизирующий энтероколит	10 (12,8)
Асфиксия тяжелой степени	8 (10,2)
Пневмония	10 (12,8)
Врожденная цитомегаловирусная инфекция	5 (6,4)
Множественные врожденные пороки развития	3 (3,8)

Значения параметров ИВЛ, достигнутые после поступления в ОАР, в данной группе пациентов показаны в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, значения параметров ИВЛ довольно высокие, однако следует заметить, что переносились они нашими пациентами хорошо. Частота распространения такого осложнения, как пневмоторакс в неонатальном периоде отмечалась в 8 случаях (10,2%), на нашем этапе терапии пневмоторакс встречался только в двух случаях (2,6%) ( $p < 0,05$ , метод Фишера), что указывает на безопасность используемого метода ИВЛ. Фракция кислорода  $FIO_2$  снижается на целевых параметрах сатурации (89–95%) в течение первых суток, а иногда и в течение нескольких минут до 40%. От 24 до 72 часов наблюдается автоматическая деэскалация PIP на 20% и более. Но длительность деэскалации до готовности к отлучению от ИВЛ весьма индивидуальна. Уменьшается частота периодов десатурации и излишнего беспокойства ребенка, требующих седации и даже применения миорелаксантов. Реинтубации в неонатальном периоде отмечались в 65 случаях (83,3%), среднее число реинтубаций составило 2 на каждого пациента, максимальное число реинтубаций составило 10 у одного пациента. Реинтубации в периоде отлучения от ИВЛ, на нашем этапе оказания помощи, отмечались в 16 случаях (20,5%) ( $p < 0,001$ , метод Фишера), среднее число реинтубаций составило 1 на каждого пациента и максимальное число реинтубаций составило 3 у одного пациента. Индекс асинхронии (AI) по Vitassa [9] рассчитывался путем подсчета соотношения числа асинхронных вдохов к числу всех вдохов, в том числе неэффективных, за 30-минутное наблюдение после санации трахеальной трубки и стабилизации состояния. В первый день госпитализации в отделение медиана AI составила 43%, за сутки до экстубации этот показатель снизился до 13%, с нижним квартилем 8% и верхним квартилем 16% ( $p < 0,05$ , метод Вилкоксона). Летальность в изучаемой группе составила 6 человек (7,6%). Априорная вероятность летального исхода в группе пациентов неэффективного отлучения от ИВЛ составляет 25% [13].

При проведении ИВЛ новорожденным с РДС при достижении мягких параметров ИВЛ, характерных для нормальных легких, наличие нормальных показателей газового состава крови и кислотно-основное равновесие (КОР), стабильной гемодинамики, пациенты немедленно экстубируются при наличии в шаговой доступности аппарата для проведения НСРАР или неинвазивной вентиляции легких [11, 12]. Однако следует заметить, что в большинстве

Таблица 3

**Параметры искусственной вентиляции легких изучаемой группы пациентов**

Параметры ИВЛ	Me (LQ–UQ)	Минимум	Максимум
Целевой объем вдоха $V_t$ , мл/кг	11 (8–13)	7	15
«Рабочий» PIP см $H_2O$	29 (25–32)	23	38
«Лучший» РЕЕР см $H_2O$	8 (7–9)	6	10
ЧД, циклов/мин	24 (20–30)	17	35
Индекс асинхронии (AI), %	43 (18–55)	13	61

случаев на наличие пациент-вентиляторной асинхронии не обращается внимание. Использование кофеина с рождения с целью профилактики БЛД, как мы видим, применялось лишь в 20,5%, что, вероятно, снижает частоту асинхронии, особенно такого типа, как аутоотриггирование с пассивным раздуванием легких, что может лежать в основе ИВЛ-ассоциированного повреждения легких и, соответственно, в развитии БЛД. Дети с длительной ИВЛ (более 7 дней) обычно имеют неэффективное отлучение от ИВЛ, и, как правило, нуждаются в реинтубации и возобновлении проведения ИВЛ.

Для БЛД нехарактерны быстрые изменения биомеханики дыхания. Изменения происходят медленно, постепенно, скорость этих изменений также индивидуальна у каждого пациента [11]. В первые 2–3 недели жизни у новорожденных детей при БЛД без полиорганной недостаточности, находящихся на длительной ИВЛ, значительных изменений в патофизиологии процесса и респираторной стратегии не происходит [11]. ИВЛ-зависимые новорожденные дети имеют три пути развития патологического процесса: 1) тяжелый РДС/дыхательная недостаточность (ДН) с неэффективной терапией сурфактантом, требующие жестких параметров ИВЛ, — эти состояния никогда не имеют значительного улучшения, и процесс прогрессирует до тяжелой БЛД и впоследствии фиброза легких (хроническая легочная болезнь); 2) легкий/среднетяжелый РДС с начальным улучшением, иногда успешной экстубацией с последующим ухудшением респираторного статуса, требующим реинтубации или эскалации респираторной поддержки, в конце концов, с развитием хронической ИВЛ-зависимости; 3) минимальные данные за раннюю легочную болезнь у новорожденного с мягкими параметрами ИВЛ или исключительно неинвазивной респираторной поддержкой и низкой потребностью в кислороде с последующим постепенным ухудшением респираторного статуса с диффузным легочным затемнением на рентгенограмме и ранним образованием воздушных «ловушек» в виде своеобразных воздушных пузырей, неизбежно ведущих к интубации и ужесточению параметров ИВЛ [11].

Дети первой группы имеют риски наличия гипоплазии или врожденной пневмонии и/или легочную гипертензию [11]. Вторая группа наиболее распространенная, и, возможно, связана с воздействием агрессивных форм кислорода и ИВЛ-ассоциированного повреждения легких на ранних стадиях интенсивной терапии [11]. Третья группа, возможно, связана с ускорением созревания легких за счет воздействия внутриутробного стресса различного генеза с последующим влиянием ИВЛ-ассоциированного повреждения легких [11].

Следует отметить, что полная картина манифестации БЛД может не наступать до второго месяца жизни, но прогрессирующее увеличение сопротивления дыхательных путей начинается уже на первой неделе жизни с последующим развитием неоднородной вентиляции/перфузии легких, увеличением бронхиальной секреции, ведущим к так называемым «блуждающим» ателектазам и тенденцией к гиперинфляции легких ко 2–3-й неделе жизни [11]. Несмотря на применение перmissive гиперкапнии, к 3 неделям жизни

наблюдается необходимость увеличения объема вдоха у детей из группы ЭНМТ, находящихся на длительной ИВЛ [6].

У новорожденных детей на длительной ИВЛ отмечаются поражения как паренхимы легких, так и дыхательных путей [11]. У большинства пациентов обструктивный компонент поражения дыхательных путей преобладает. Но клиническая картина довольно различная и соотношение паренхиматозных поражений против бронхиальных может отличаться у разных пациентов, так же как и в разных отделах легких у одного и того же пациента [11]. Поражаются как большие, так и малые дыхательные пути, и каждое из этих поражений ведет к разной клинической картине [11].

При поражении больших дыхательных путей отмечаются мукозные и субмукозные повреждения вследствие длительной интубации, результатом которых является подсвязочный стеноз трахеи, локальная обструкция вследствие гранулемы дыхательных путей или дисфункция голосовых связок [11]. Общая причина обструкции больших дыхательных путей — это трахеобронхомаляция, которая, вероятно, является следствием длительного циклического растяжения незрелых структур дыхательных путей [11]. Трахеобронхомаляция может приводить к динамической обструкции на выдохе, проявляясь экспираторным стридором и аномальной кривой «поток–объем» на мониторе аппарата ИВЛ или инспираторным стридором, обусловленным коллабированием экстраторакальной трахеи у детей на спонтанном дыхании [11]. Обструкция малых дыхательных путей развивается в результате комбинирования отека слизистой оболочки, гипертрофии гладкой мышечной ткани и гиперсекреции, а также бронхоспазма различной степени тяжести, в большинстве случаев без эффекта на бронхолитики [11].

Выраженная гетерогенность легочной паренхимы и вовлечение дыхательных путей является причиной значительной региональной вариабельности константы времени в легких, что приводит к мультикомпарментной патофизиологии процесса, затрудняя проведение оптимальной ИВЛ у таких пациентов [11]. Участки легких с низким сопротивлением дыхательных путей относят к «быстрому компартменту», эти участки относительно быстро наполняются воздухом и так же относительно быстро освобождаются от него [11]. Участки легких с высоким сопротивлением дыхательных путей относят к «медленному компартменту», для них характерно медленное раздувание терминальных респираторных единиц и еще более медленное их сдувание [11]. Проведение ИВЛ с относительно высокой частотой дыхательных циклов (ЧД), с коротким временем вдоха и выдоха, как при РДС, преимущественно приводит к направлению газа в «быстрые» компартменты легких, приводя к увеличению мертвого пространства вентиляции, снижению вентиляционно-перфузионных соотношений и повреждению относительно здоровых участков легких от перерастяжения тканей. Кроме того, подобная вентиляция ограничивает объем газа, поступающего в «медленные» компартменты, имеющие увеличенную константу времени выдоха и, вероятно, этот газ «запирается» в этих

участках легких, формируя воздушные «ловушки» за счет коллапса малых дыхательных путей на низких дыхательных объемах. Выведение воздуха из мультикомпарментных легких почти полностью зависит от опустошения «медленных» компарментов, которые значительно повреждаются при неадекватной константе времени, ведущей к формированию воздушных «ловушек». Следовательно, значительное снижение ЧД и увеличение времени вдоха и выдоха являются необходимыми и существенными для оптимизации ИВЛ у младенцев, находящихся на длительной вентиляции легких по перинатальным причинам [11].

Второе важное отличие от обычного РДС — это необходимость использования значительно высокого  $V_t$ . Это обусловлено увеличенным альвеолярным мертвым пространством вследствие неоднородного раздувания легких и формирования воздушных «ловушек», увеличенным анатомическим мертвым пространством, вызванным «приобретенной трахеобронхомегалией», необходимостью поддержания минутной вентиляции (МВ) на уровне 250–300 мл/кг в минуту замедленной ЧД [11]. Так, при ЧД 20 в минуту  $V_t$  должен быть равен 12,5–15 мл/кг ( $12,5\text{--}15\text{ мл/кг} \times 20\text{ вдохов/мин} = 250\text{--}300\text{ мл/кг}$ ), хотя многие рассматривают такие объемы критически большими и опасными, угрожающими развитию волюмотравмы легких у детей [11]. Актуальная МВ, необходимая для поддержания адекватного удаления  $\text{CO}_2$ , индивидуальна у каждого пациента и зависит от физиологически мертвого пространства (сумма альвеолярного и анатомического мертвого пространства), количества альвеолярных поражений, приводящих к уменьшению площади поверхности газообмена, уровня пермиссивной гиперкапнии, которая облегчает удаление  $\text{CO}_2$  путем увеличения градиента диффузии для этого газа, и уровня силы спонтанного вдоха пациента, способствующего увеличению общей МВ [11].

Третье основное отличие ИВЛ при длительной вентиляции от РДС у новорожденных детей — это необходимость использования значительно более высоких значений положительного давления на выдохе (РЕЕР) [11]. Малые дыхательные пути при малом объеме вдоха легко коллапсируют на выдохе, приводя к ограничению выдоха [11], вероятно, в результате дефицита упругоэластических свойств незрелой соединительной ткани в данной группе пациентов. Большие дыхательные пути коллапсируют в результате трахеобронхомаляции, что приводит к схожему ограничению потока газа и сходным образом реагирует на применение высокого РЕЕР [11]. Использование высокого РЕЕР при развитии воздушных «ловушек» может показаться парадоксальным, так как существуют рекомендации не использовать высокое РЕЕР при обструктивных поражениях легких с целью профилактики воздушных «ловушек». Но на практике такая стратегия (высокое РЕЕР) работает очень эффективно, поддерживая дыхательные пути открытыми на выдохе, обеспечивая максимально полный выход газа, особенно в «медленных» компарментах легких [11].

Методом выбора режима вентиляции при традиционной ИВЛ у младенцев с повышенным сопротивлением в дыха-

тельных путях и необходимостью применения низкой ЧД является режим SIMV [11]. Поскольку спонтанное дыхание младенца на PS направлено на вентиляцию «быстрых» компарментов с относительно высокой ЧД и низким  $V_t$ , тогда как низкая ЧД принудительных вдохов с высоким  $V_t$  в основном направлена на вентиляцию медленных компарментов [11]. При этом следует предупреждать генерирование слишком высокой ЧД на PS, так как это может привести к обратному эффекту — образованию воздушных «ловушек».

При достижении высоких значений  $V_t$  значения PIP также достигают предельных значений для развития ИВЛ ассоциированного повреждения легких. Однако оба эти параметра (PIP и  $V_t$ ) на высоких значениях хорошо переносятся грудными детьми с установленным диагнозом хронической легочной болезни, например БЛД тяжелой степени [11], что согласуется с нашими наблюдениями.

## ВЫВОДЫ

1. Высокие значения таких параметров, как  $V_t$ , PIP, РЕЕР и значительно низкая частота дыхательных принудительных вдохов, хорошо переносятся и достаточно безопасны при ИВЛ с целевым объемом вдоха, с нисходящей формой кривой потока в режиме SIMV при длительной ИВЛ у детей с тяжелой БЛД. О чем свидетельствует низкая частота пневмотораксов по сравнению с неонатальным этапом и низкий уровень летальности, гораздо ниже априорной вероятности летального исхода при патологии связанной с неэффективным отлучением от ИВЛ. При использовании данного режима ИВЛ отмечается также снижение частоты применения седации и миорелаксации для синхронизации с аппаратом ИВЛ, и одновременно значительное снижение индекса асинхронии.

2. Учитывая короткий период времени автоматической деэскалации PIP на 20% и более, а также быстрое снижение  $\text{FIO}_2$  до 40% и менее, значительно низкую частоту распространения реинтубаций по сравнению с неонатальным периодом, можно заключить, что применение данного метода ИВЛ в режиме SIMV представляет эффективную стратегию при длительной ИВЛ у детей грудного возраста, имеющих БЛД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александрович Ю.С., Дальжинова С.Б., Пшениснов К.В., Александрович И.В. Эффективность различных режимов неинвазивной вентиляции у новорожденных в родильном зале в зависимости от срока гестации. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2020; 17(6): 22–30.
2. Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. Респираторная поддержка при критических состояниях в педиатрии и неонатологии. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2020.
3. Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Хиенас В. и др. Инвазивная искусственная вентиляция легких у недоношенных новорожденных в родильном зале: всегда ли она оправдана? Анестезиология и реаниматология. Медиа Сфера. 2018; 5: 44–52.

4. Иванов Д.О., Орёл В.И., Александрович Ю.С., Прометной Д.В. Младенческая смертность в Российской Федерации и факторы, влияющие на ее динамику. *Педиатр.* 2017; 8(3): 5–14.
5. Линхоева С.Б., Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. и др. Выбор режима неинвазивной респираторной поддержки у недоношенных новорожденных в родильном зале. *Анестезиология и реаниматология. Медиа Сфера.* 2020; 2: 65–71.
6. Прометной Д.В., Александрович Ю.С., Вороненко И.И. Факторы риска, предикторы и современная диагностика бронхолегочной дисплазии. *Педиатр.* 2017; 8(3): 142–50.
7. Серебрякова Е.Н., Волосников Д.К. Прогнозирование бронхолегочной дисплазии у новорожденных с синдромом полиорганной недостаточности. *Врач.* 2015; (9): 32–4.
8. Хиенас В., Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. и др. Оценка эффективности ранней неинвазивной респираторной поддержки у недоношенных новорожденных. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2017; 14(2): 20–6.
9. Arnaud W. Thille, Pablo Rodriguez, Belen Cabello et al. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2006; 32(10): 1515–22. DOI: 10.1007/s00134-006-0301-8. Epub 2006 Aug 1.
10. David G. Sweet, Virgilio Carnielli, Gorm Greisen, Mikko Hallman et al. European Consensus Guidelines on the Management of Respiratory Distress Syndrome — 2019 Update. *Neonatology.* 2019; 115(4): 432–50. <https://doi.org/10.1159/000499361>.
11. Martin Keszler, Robin McKinney Ventilation strategies in bronchopulmonary dysplasia: Where We are and where We should be going? In *Updates on Neonatal Chronic Lung Disease.* 2020; Elsevier Inc: 257–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-68353-1.00017-8>.
12. Martin Keszler. Volume-targeted ventilation: one size does not fit all. Evidence-based recommendations for successful use. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2018; 0: F1-F5. Epub ahead of print: [Downloaded from <http://fn.bmj.com/> 5 November 2018]. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-314734>.
13. Boles J.M., Bion J., Connors A., Herridge M. et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J.* 2007; 29(5): 1033–56. DOI: 10.1183/09031936.00010206.
3. Aleksandrovich Yu.S., Pshenisnov K.V., Khiyenas V. i dr. Invazivnaya iskusstvennaya ventilyatsiya legkikh u nedonoshennykh novorozhdennykh v rodil'nom zale: vsegda li ona opravdana? [Invasive mechanical ventilation in preterm infants in the delivery room: is it always justified?] *Anesteziologiya i reanimatologiya. Media Sfera Publ.* 2018; 5: 44–52. (in Russian).
4. Ivanov D.O., Orol V.I., Aleksandrovich Yu.S., Prometnoy D.V. Mladencheskaya smertnost' v Rossiyskoy Federatsii i faktory, vliyayushchiye na yeye dinamiku [Infant mortality in the Russian Federation and factors influencing its dynamics]. *Pediatr.* 2017; 8(3): 5–14. (in Russian).
5. Linkhoyeva S.B., Aleksandrovich Yu.S., Pshenisnov K.V. i dr. Vybor rezhima neinvazivnoy respiratornoy podderzhki u nedonoshennykh novorozhdennykh v rodil'nom zale [Choice of non-invasive respiratory support in premature newborns in the delivery room]. *Anesteziologiya i reanimatologiya. Media Sfera Publ.* 2020; 2: 65–71. (in Russian).
6. Prometnoy D.V., Aleksandrovich Yu.S., Voronenko I.I. Faktory riska, prediktory i sovremennaya diagnostika bronkholegochnoy displazii [Risk factors, predictors and modern diagnosis of bronchopulmonary dysplasia]. *Pediatr.* 2017; 8(3): 142–50. (in Russian).
7. Serebryakova Ye.N., Volosnikov D.K. Prognozirovaniye bronkholegochnoy displazii u novorozhdennykh s sindromom poliorgannoy nedostatochnosti [Prediction of bronchopulmonary dysplasia in newborns with multiple organ failure syndrome]. *Vrach.* 2015; (9): 32–4. (in Russian).
8. Khiyenas V., Aleksandrovich Yu.S., Pshenisnov K.V. i dr. Otsenka effektivnosti ranney neinvazivnoy respiratornoy podderzhki u nedonoshennykh novorozhdennykh. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii.* 2017; 14(2): 20–6. (in Russian).
9. Arnaud W. Thille, Pablo Rodriguez, Belen Cabello et al. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2006; 32(10): 1515–22. DOI: 10.1007/s00134-006-0301-8. Epub 2006 Aug 1.
10. David G. Sweet, Virgilio Carnielli, Gorm Greisen, Mikko Hallman et al. European Consensus Guidelines on the Management of Respiratory Distress Syndrome — 2019 Update. *Neonatology.* 2019; 115(4): 432–50. <https://doi.org/10.1159/000499361>.
11. Martin Keszler, Robin McKinney Ventilation strategies in bronchopulmonary dysplasia: Where We are and where We should be going? In *Updates on Neonatal Chronic Lung Disease.* 2020; Elsevier Inc: 257–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-68353-1.00017-8>.
12. Martin Keszler. Volume-targeted ventilation: one size does not fit all. Evidence-based recommendations for successful use. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2018; 0: F1-F5. Epub ahead of print: [Downloaded from <http://fn.bmj.com/> 5 November 2018]. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-314734>.
13. Boles J.M., Bion J., Connors A., Herridge M. et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J.* 2007; 29(5): 1033–56 DOI: 10.1183/09031936.00010206.

## REFERENCES

1. Aleksandrovich Yu.S., Dal'zhinova S.B., Pshenisnov K.V., Aleksandrovich I.V. Effektivnost' razlichnykh rezhimov neinvazivnoy ventilyatsii u novorozhdennykh v rodil'nom zale v zavisimosti ot sroka gestatsii [Efficacy of different modes of non-invasive ventilation in newborns in the delivery room depending on gestational age]. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii.* 2020; 17(6): 22–30. (in Russian).
2. Aleksandrovich Yu.S., Pshenisnov K.V. Respiratornaya podderzhka pri kriticheskikh sostoyaniyakh v pediatrii i neonatologii [Respiratory support in critical conditions in pediatrics and neonatology]. Moskva: GEOTAR-Media Publ.; 2020. (in Russian).