



Сравнение режима поддержки давлением наркозно-дыхательных и реанимационных аппаратов ИВЛ

В. А. ПЫЖОВ, К. Н. ХРАПОВ

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, РФ

РЕЗЮМЕ

Цель: сравнение показателей, характеризующих работу режима поддержки давлением, на современных наркозно-дыхательных и реанимационных аппаратах искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Материалы и методы. В исследование включено 5 наркозно-дыхательных (Mindray WATO EX-65, Dräger Primus, GE Avance S/5, GE Carestation 650, GE Aisys CS2) и 5 реанимационных аппаратов ИВЛ (Hamilton C1, Hamilton C2, GE Engström Carestation, Puritane Bennette 840, Puritane Bennette 980). Все аппараты тестировали при помощи моделирующего дыхательного устройства ASL 5000 фирмы Ingmar medical. Оценивали время задержки срабатывания триггера, максимальное снижение давления ниже уровня положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) при инициации вдоха, показатель РТР (pressure-time product), а также уровень достигнутого давления через 300 и 500 мс от начала вдоха при различных уровнях поддержки давлением и ПДКВ.

Результаты. Показатели, характеризующие работу триггерной системы и паттерн набора инспираторного давления у аппаратов ИВЛ, используемых в интенсивной терапии, и наркозно-дыхательных аппаратов, имели статистически значимые различия. Однако по скорости отклика триггерной системы современные анестезиологические машины (GE Avance S/2, GE Carestation 650, GE Aisys CS2) существенно не уступают традиционным аппаратам ИВЛ, временная задержка триггера у них составляет около 100 мс. Максимальное снижение давления ниже ПДКВ до запуска вдоха у тестируемых реанимационных аппаратов ИВЛ составило 1,0–1,5 см H₂O, у современных наркозных аппаратов этот показатель оказался сопоставимым, составил приблизительно 1,5–2,0 см H₂O (GE Avance S/2, GE Carestation 650, GE Aisys CS2). Оценка уровня достигнутого давления через 300 и 500 мс продемонстрировала, что эти показатели оказались ближе к целевому давлению у ИВЛ пневмокомпрессорной конструкции, у турбинных аппаратов – оказались приблизительно на 25% меньше. У наркозных аппаратов с двухконтурной пневматической конструкцией значения давления оказались меньше на 40% по сравнению с аппаратами пневмокомпрессорной конструкции.

Вывод. Показатели работы триггерной системы у современных наркозных и реанимационных аппаратов ИВЛ существенно не отличаются. Большинство тестируемых наркозных аппаратов в течение 500 мс не достигали целевого давления и по этому показателю существенно отличаются от реанимационных респираторов.

Ключевые слова: искусственная вентиляция легких, аппарат ИВЛ, наркозно-дыхательный аппарат, вентиляция с поддержкой давлением, поддержка давлением, триггер вдоха

Для цитирования: Пыжов В. А., Храпов К. Н. Сравнение режима поддержки давлением наркозно-дыхательных и реанимационных аппаратов ИВЛ // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 75-86. DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-3-75-86

Comparison of the Pressure Support Mode of Anesthetic Respiratory and Resuscitation Ventilators

V. A. PYZHOV, K. N. KHRAPOV

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

The objective: Comparison of parameters characterizing the operation of the pressure support regime on modern anesthetic and intensive care ventilators.

Subjects and Methods. The study included 5 anesthesia machines (Mindray WATO EX-65, Dräger Primus, GE Avance S/5, GE Carestation 650, and GE Aisys CS2) and 5 intensive ventilators (Hamilton C1, Hamilton C2, GE Engström Carestation, Puritane Bennette 840, and Puritane Bennette 980). All devices were tested using the Ingmar medical ASL 5000 breathing device. The trigger delay time, the maximum pressure reduction below the PEEP level at the initiation of inspiration, PTP (pressure-time product), as well as the level of pressure achieved after 300 and 500 ms from the start of inspiration at different levels of pressure support and PEEP were evaluated.

Results. The parameters characterizing operation of the trigger system and pattern of the inspiratory pressure set in ventilators used in intensive care and anesthesia ventilators had statistically significant differences. However, in terms of the response rate of the trigger system, modern anesthesia machines (GE Avance S/2, GE Carestation 650, and GE Aisys CS2) are not significantly inferior to traditional ventilators, their trigger delay time is about 100 ms. The maximum decrease in pressure below PEEP before the start of inhalation in the tested intensive ventilators was 1.0–1.5 cm H₂O, in modern anesthesia machines this parameter was comparable and made approximately 1.5–2.0 cm H₂O (GE Avance S/2, GE Carestation 650, and GE Aisys CS2). Assessment of the pressure level achieved after 300 and 500 ms showed that these parameters were closer to the target pressure for ventilators of the pneumatic compressor design, for turbine devices these parameters were approximately 25% less. Anaesthesia devices with a two-circuit pneumatic design had 40% less pressure values compared to devices with a pneumatic compressor design.

Conclusion: The performance of the trigger system in modern anesthesia and intensive care ventilators does not differ significantly. Most of the anesthesia machines tested did not reach the target pressure within 500 ms, and by this parameter they differ significantly from intensive care respirators.

Key words: artificial lung ventilation, ventilator, anesthesia ventilators, pressure support ventilation, pressure support, inhalation trigger

For citations: Pyzhov V. A., Khrapov K. N. Comparison of the pressure support mode of anesthetic respiratory and resuscitation ventilators. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2022, Vol. 19, no. 3, P. 75-86. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-3-75-86

Для корреспонденции:
Пыжов Василий Анатольевич
E-mail: vasily.pyzhov@yandex.ru

Correspondence:
Vasily A. Pyzhov
Email: vasily.pyzhov@yandex.ru

За последнее десятилетие функциональные возможности наркозно-дыхательных аппаратов для операционных существенно расширились. С целью обеспечения лучшей синхронизации пациента с аппаратом при проведении анестезии с сохраненным самостоятельным дыханием, более комфортного пробуждения в новом поколении анестезиологических машин появился большой спектр режимов, ранее характерных только для реанимационных аппаратов искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Среди них, в частности, имеется режим самостоятельного дыхания с поддержкой давлением (Pressure support ventilation, PSV) [12, 18, 22]. Этот режим появился на реанимационных респираторах еще в середине 1980-х годов благодаря созданию микропроцессорной техники и чувствительных триггерных систем, став одним из популярнейших режимов в практике интенсивной респираторной терапии.

PSV – режим самостоятельного дыхания, при котором каждый вдох инициируется пациентом, при этом запуск вдоха происходит согласно снижению давления в контуре либо снижению циркулирующего потока. После запуска вдоха пациентом аппарат подает поток газовой смеси до достижения определенного давления. Циклирование производится либо при снижении пикового потока вдоха до определенной величины, либо по истечении заданного оператором времени. Последний способ переключения с вдоха на выдох характерен для использования данного режима при возможных больших утечках, например во время неинвазивной вентиляции легких [7, 10, 14, 16, 17].

С момента внедрения в клиническую практику этот режим вентиляции стал чрезвычайно востребованным в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), поскольку при его использовании обеспечиваются наиболее оптимальные условия для синхронизации дыхания пациентов с аппаратом ИВЛ: пациент оказывает влияние на все фазы дыхательного цикла, снижается работа дыхания, реаниматолог может регулировать вклад пациента в обеспечение вдоха в зависимости от конкретной клинической ситуации. По сравнению с другими режимами ИВЛ именно PSV наиболее часто используется для отлучения пациентов от респиратора [1, 11, 27].

По мнению ряда авторов, данный режим может быть эффективно использован на различных этапах общей анестезии. Например, у пациентов с ожирением за счет предотвращения образования ателектазов он позволяет более эффективно провести преоксигенацию и обеспечить более длительный период безопасного апноэ [9]. На этапе поддержания анестезии, в тех случаях, когда не требуется миорелаксация, применение режима PSV позволяет снизить потребление анестетиков при сохранении адекватного газообмена [2, 6–8, 15]. На завершающих стадиях анестезии, по данным многих авторов, применение режима PSV обеспечивает более ком-

фортное и быстрое пробуждение, более ранние экстубацию и перевод из операционной [2, 6, 15, 20, 27]. Несмотря на то что режим PSV на наркозных аппаратах появился уже более двух десятилетий назад, мнения в отношении эффективности его применения в анестезиологии существенно разнятся. Вероятно, отчасти это связано с различиями в устройстве и принципе функционирования наркозно-дыхательных и реанимационных аппаратов ИВЛ. Если первые имеют более консервативное устройство и нагнетают газоздушную смесь за счет двухконтурного меха или электрического поршня, то вторые, как правило, генерируют постоянный поток, управляемый соленоидным клапаном, при помощи турбины либо пневмокомпрессора [19, 21]. Работа реанимационных аппаратов ИВЛ, по-видимому, является более точной и корректной, особенно в отношении сложных режимов вентиляции, таких как режим PSV. Особенности привода наркозных аппаратов могут в значительной степени повлиять на корректность работы триггерного механизма, а также на скорость набора и удержания заданного давления поддержки [12, 18].

В настоящий момент опубликовано не так много работ, посвященных режиму PSV на наркозно-дыхательных аппаратах ИВЛ, одним из таких исследований является работа S. Jaber et al. [12]. В этой публикации приведен сравнительный анализ параметров режима PSV на актуальных в то время аппаратах ИВЛ, используемых в отделении интенсивной терапии и операционной. Однако с момента ее написания парк аппаратов значительно обновился, кроме того, у клиницистов появилась возможность оценивать работу аппаратов с помощью моделирующих устройств, используемых в рамках симуляционного образования. В этой связи представляется интересным сравнить работу PSV на современных реанимационных и анестезиологических респираторах, рутинно используемых в настоящее время в нашей клинике.

Цель работы: сравнение современных наркозно-дыхательных и реанимационных аппаратов ИВЛ как по основным техническим характеристикам, представленным в спецификациях устройств, так и по корректности работы триггерной системы, набору и удержанию заданного давления поддержки.

Материалы и методы

Тестируемые аппараты. Протестировано пять наркозно-дыхательных аппаратов, четыре из которых имеют привод в виде пневматического двухконтурного меха (GE Avance S/5, GE Carestation 620, GE Aisys CS2 фирмы GE Healthcare, Mindray WATO EX-65), а один оснащен электропоршневым приводом (Dräger Primus). Технические характеристики оценили также у пяти реанимационных аппаратов ИВЛ: двух турбинных (Hamilton C1, Hamilton C2) и трех пневмокомпрессорных (Puritane Bennette 840, Puritane Bennette 980, GE Engström Carestation.)

Тестовый аппарат. Оценку всех аппаратов проводили при помощи моделирующего дыхательного устройства Active servo lung 5000 (ASL 5000) фирмы Ingmar medical (рис. 1). Особенность этого моделирующего устройства заключается в том, что оно само способно генерировать спонтанные вдо-

хи с заданными оператором при помощи специальной программы параметрами механики дыхания и усилия «пациента». Главный элемент устройства ASL 5000 – поршень, который движется внутри цилиндра; его движения полностью управляются специальной программой, что обеспечивает мак-

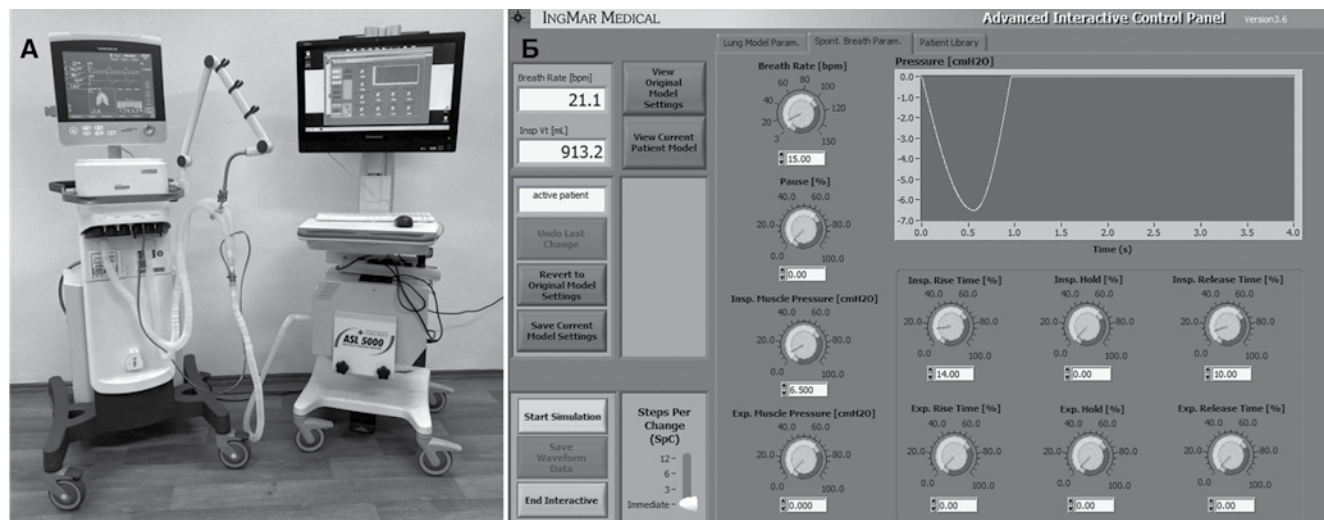


Рис. 1. Моделирующее дыхательное устройство Activeservolung 5000: А – ASL 5000 (справа) подключено к реанимационному респиратору Hamilton G5; Б – панель регулировки параметров спонтанного вдоха

Fig. 1 Activeservolung 5000 Breathing Simulator :

A – ASL 5000 (right) connected to Hamilton G5 Resuscitator; Б – panel for adjusting spontaneous inspiration parameters

симальную точность и универсальность. Компьютерная программа ASL Software 3.6 обеспечивает возможность не только задавать необходимые параметры дыхательного цикла, но и производить запись с дальнейшим обчетом полученных данных [24].

Измеряемые параметры включали в себя показатели, характеризующие работу инспираторного триггера, а также показатели, характеризующие процесс достижения давления поддержки [4, 12, 19, 23] (рис. 2).

При каждом измерении проводили оценку трех показателей ответа на дыхательную попытку (триггирования):

- время задержки срабатывания триггера, измеряемое от начала вдоха моделирующим устройством до момента подачи потока и повышения давления в контуре аппарата ИВЛ (данный показатель, пожалуй, является ключевым для оценки работы триггерной системы);
- максимальное снижение давления ниже уровня ПДКВ при инициации вдоха (данный показатель косвенно отражает работу дыхания при запуске вдоха аппаратом ИВЛ, то есть чем больше создаваемое разрежение регистрируется при запуске вдоха, тем больше работа мышц, совершаемая для инициации вдоха [3]);
- показатель РТР (pressure-time product), который высчитывался как произведение двух вышеописанных показателей (время задержки срабатывания триггера и максимальное снижение давления).

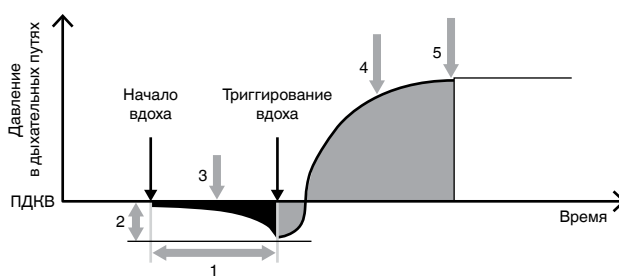


Рис. 2. Кривая давление – время при инициации вдоха пациентом: 1 – время задержки срабатывания триггера (мс); 2 – максимальное снижение давления ниже уровня ПДКВ при инициации вдоха (см H_2O); 3 – показатель РТР (pressure-time product), вычисляемый по формуле: время задержки срабатывания триггера × максимальное снижение давления (мс × см H_2O); 4 – уровень достигнутого давления на 300-й мс от начала вдоха респиратором (см H_2O); 5 – уровень достигнутого давления на 500-й мс от начала вдоха респиратором (см H_2O)

Fig. 2. Pressure curve – time when the patient initiates inspiration: 1 – trigger delay time (ms); 2 – the maximum decrease in pressure below the level of PEEP at the initiation of inspiration (cm H_2O); 3 – PTP (pressure-time product), calculated by the formula: trigger delay time × maximum pressure drop (ms × cm H_2O); 4 – the level of pressure achieved at the 300th ms from the beginning of inhalation by the respirator (cm H_2O); 5 – the level of pressure achieved at the 500th ms from the beginning of inhalation by the respirator (cm H_2O)

Данный показатель также косвенно характеризует работу дыхания при инициации аппаратного вдоха.

Для оценки процесса набора и поддержания давления в инспираторную фазу использовали два параметра: а) уровень достигнутого давления на 300-й мс от начала вдоха респиратором; б) уровень достигнутого давления на 500-й мс от начала вдоха респиратором.

Последние два параметра зависят от скорости потока, который может создавать аппарат ИВЛ, установленных параметров режима PSV и от инспираторного усилия моделирующего устройства (пациента).

Помимо измеряемых параметров, также проводилось сравнение функциональных возможностей аппаратов согласно их спецификациям. Оценивались виды и диапазон настройки инспираторного триггера, возможность регулировки времени достижения заданного давления поддержки, циклирующие переменные и возможность их выбора (табл.).

Протокол эксперимента. С целью стандартизации тестовых вдохов моделирующее устройство запрограммировали на два типа попыток, обеспечивающих без поддержки давлением дыхательные объемы 220 мл (слабая попытка) и 440 мл (нормальная попытка). Давление окклюзии через 100 мс ($P_{0,1}$) при слабой попытке составляло -2 см H_2O , а при нормальной было -4 см H_2O [19, 26].

Вышеописанные параметры спонтанного вдоха достигались в основном регулировкой давления в моделирующем устройстве, создаваемого мышцами вдоха (inspiratory muscle pressure), которое составляло 6,5 см H_2O в случае слабой и 12 см H_2O в случае нормальной дыхательной попытки. Также подбирали соответствующую форму инспираторного давления, создаваемого дыхательной мускулатурой. Выдох был полностью пассивен.

Все показатели, характеризующие работу триггерной системы и набор инспираторного давления, перечисленные выше, измерялись для каждого наркозно-дыхательного и реанимационного аппарата ИВЛ при трех уровнях давления поддержки, равных 10, 15, 20 см H_2O , а также при двух уровнях предустановленного ПДКВ, равных 0 и 5 см H_2O [19, 26].

Таким образом, каждый реанимационный аппарат ИВЛ был оценен при 12 различных условиях, в то время как каждый наркозно-дыхательный аппарат также оценивался при потоке свежей газовой смеси 0,5 и 10 л/мин, то есть при 24 различных ситуациях.

Инспираторный триггер тестируемого аппарата был настроен на максимально чувствительную величину, при которой не возникало автотриггирования; время достижения заданного давления устанавливали на минимальную величину, а пере-

Таблица. Основные технические характеристики тестируемых аппаратов ИВЛ

Table. Main technical characteristics of the tested ventilators

Аппарат	Инспираторный триггер	Диапазон инспираторного триггера	Диапазон времени набора заданного давления	Диапазон циклирующей переменной
Наркозно-дыхательные аппараты				
GE Avance S5	По потоку	0,2–10,0 л/мин	1–10 усл. ед.	5–75% от пикового инспираторного потока
GE Carestation 620	По потоку	0,2–10,0 л/мин	1–10 усл. ед.	5–75% от пикового инспираторного потока
GE Aisys CS2	По потоку	0,2–10,0 л/мин	1–10 усл. ед.	5–75% от пикового инспираторного потока
Mindray WATO EX-65	По потоку	-1...-20 см H_2O	0–2 с	5–60% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,5–15,0 л/мин		
Dräger Primus	По потоку	0,3–15,0 л/мин	0–2 с	Фиксирована 25% – для взрослых 5% – для детей от пикового инспираторного потока
Реанимационные аппараты ИВЛ				
Hamilton C1	По потоку	-0,5...-10,0 см H_2O	50–200 мс	5–70% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,5–15,0 л/мин		
Hamilton C2	По потоку	-0,5...-10,0 см H_2O	50–200 мс	5–70% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,5–15,0 л/мин		
Puritan Bennette 840	По потоку	-0,1...-20,0 см H_2O	1–100%	1–45% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,5–20,0 л/мин		
Puritan Bennette980	По потоку	-0,1...-20,0 см H_2O	1–100%	1–80% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,2–20,0 л/мин		
GE EngströmCarestation	По потоку	-0,25...-10,00 см H_2O	0–500 мс	5–80% от пикового инспираторного потока
	По давлению	0,2–9,0 л/мин		

ключение с вдоха на выдох для всех аппаратов – на 25% от максимального инспираторного потока.

Параметры механики дыхания «тестового легкого» были установлены на нормальные значения: $C = 50$ мл/см H_2O ; $R = 6$ см H_2O /л в 1 с.

Сравнение реанимационных аппаратов ИВЛ с наркозно-дыхательными машинами производилось при потоке свежей газовой смеси 0,5 л/мин, поскольку подавляющая часть общей анестезии проводится именно в таких условиях.

Помимо вышеуказанных экспериментальных параметров сравнения, все аппараты также сопоставляли по техническим характеристикам согласно их спецификациям: виды и диапазон инспираторного триггера, диапазон времени набора заданного давления и циклирующей переменной.

Статистический анализ. Данные представлены в виде среднее \pm стандартное отклонение, измерение каждого показателя при конкретных условиях проводили в течение 5 вдохов, т. е. всего 5 измерений. Проверку нормальности распределения полученных данных осуществляли с использованием тестов Колмогорова – Смирнова. Межгрупповые различия показателей оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Апостериорный анализ выполняли при помощи теста Бонферрони в том случае, если в дисперсионном анализе выявлялись статистически значимые различия. Сравнение показателей работы наркозных аппаратов при разных потоках свежей газовой смеси осуществлялось при помощи U-критерия Манна – Уитни. Уровень значимости установлен на $p < 0,05$. Статистический анализ выполнен в программе IBM SPSS Statistics v. 23.

Результаты

Оценка триггерной системы

Время задержки срабатывания триггера, максимальное снижение давления при инициации вдоха и значения показателя РТР, измеренные при нулевом ПДКВ и при ПДКВ 5 см H_2O для всех исследованных аппаратов ИВЛ при слабой ($P_{0,1} = -2$ см H_2O) и нормальной ($P_{0,1} = -4$ см H_2O) дыхательных попытках, представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Показатели, характеризующие работу триггерной системы у аппаратов ИВЛ, используемых в интенсивной терапии, и наркозно-дыхательных аппаратов, имели достоверные различия ($p < 0,01$).

Время задержки срабатывания триггера у тестируемых реанимационных аппаратов ИВЛ укладывалось в диапазон от 50 до 80 мс (Hamilton C1 $71,6 \pm 2,3$ мс; Hamilton C2 $55,6 \pm 2,41$ мс; GE Engström Carestation $78,20 \pm 4,38$ мс; Puritane Bennette 840 $67,20 \pm 4,09$ мс; Puritane Bennette 980 $66,00 \pm 3,16$ мс). У более современных анестезиологических машин этот показатель составил около 90–110 мс (GE Avance S/5 $111,00 \pm 7,78$ мс; GE Carestation 650 $102,20 \pm 4,66$ мс; GE Aisys CS2

$94,40 \pm 3,21$ мс). У двух из пяти наркозно-дыхательных аппаратов (Dräger Primus, Mindray WATO EX-65) этот показатель превышал значение 150 мс ($167,60 \pm 4,77$ мс; $176,00 \pm 3,67$ мс соответственно).

Максимальное снижение давления ниже ПДКВ до запуска вдоха аппаратом у большинства реанимационных респираторов не превышало 1,5 см H_2O (Hamilton C1 $1,05 \pm 0,03$ см H_2O ; Hamilton C2 $0,76 \pm 0,04$ см H_2O ; GE Engström Carestation $1,52 \pm 0,05$ см H_2O ; Puritane Bennette 840 $1,25 \pm 0,05$ см H_2O ; Puritane Bennette 980 $1,14 \pm 0,06$ см H_2O). У большей части наркозно-дыхательных аппаратов этот показатель находился в районе 2 см H_2O (GE Avance S/5 $2,09 \pm 0,19$ см H_2O ; GE Carestation 650 $1,85 \pm 0,05$ см H_2O ; GE Aisys CS2 $1,80 \pm 0,06$ см H_2O), у этих машин также отмечали меньшее значение времени задержки срабатывания триггера. Наиболее выраженное максимальное снижение давления ниже ПДКВ при запуске вдоха выявлено у двух наркозно-дыхательных аппаратов (Dräger Primus $3,46 \pm 0,09$ см H_2O ; Mindray WATO EX-65 $3,62 \pm 0,1$ см H_2O), у которых также отмечали максимальное значение времени задержки срабатывания триггера.

Показатель РТР является производным двух предыдущих, поэтому полученные результаты оказались вполне предсказуемыми. Наименьшие значения получены у реанимационных аппаратов ИВЛ (Hamilton C1 $76,35 \pm 0,48$ мс \times см H_2O ; Hamilton C2 $42,41 \pm 1,60$ мс \times см H_2O ; GE Engström Carestation $119,20 \pm 9,59$ мс \times см H_2O ; Puritane Bennette 840 $84,12 \pm 5,10$ мс \times см H_2O ; Puritane Bennette 980 $75,10 \pm 7,31$ мс \times см H_2O). У трех анестезиологических машин этот показатель составил около 200 мс \times см H_2O (GE Avance S/5 $233,65 \pm 37,25$ мс \times см H_2O ; GE Carestation 650 $188,67 \pm 5,53$ мс \times см H_2O ; GE Aisys CS2 $170,41 \pm 10,63$ мс \times см H_2O). Наибольшие значения этого показателя выявлены у аппаратов Dräger Primus и Mindray WATO EX-65 ($580,22 \pm 27,78$ мс \times см H_2O ; $636,52 \pm 14,03$ мс \times см H_2O).

С целью стандартизации все представленные цифры приведены для измерения с нормальной дыхательной попыткой ($P_{0,1} = -4$ см H_2O) при давлении поддержки = 15 см H_2O и ПДКВ = 5 см H_2O .

У большинства тестируемых аппаратов, как наркозных, так и реанимационных, выявлены значимые различия показателей, характеризующих работу триггерной системы, измеренных при разных уровнях ПДКВ (0 и 5 см H_2O). Применение ПДКВ, как правило, приводило к ухудшению работы триггерной системы. Однако у реанимационных аппаратов ИВЛ турбинной конструкции (Hamilton C1, Hamilton C2) чаще наблюдали обратную ситуацию: при применении ПДКВ 5 см H_2O время задержки срабатывания триггера по сравнению с показателем, измеренным при нулевом ПДКВ, оказалось меньше ($p < 0,01$).

В наибольшей степени ПДКВ оказывало влияние на работу триггерной системы наркозно-дыхатель-

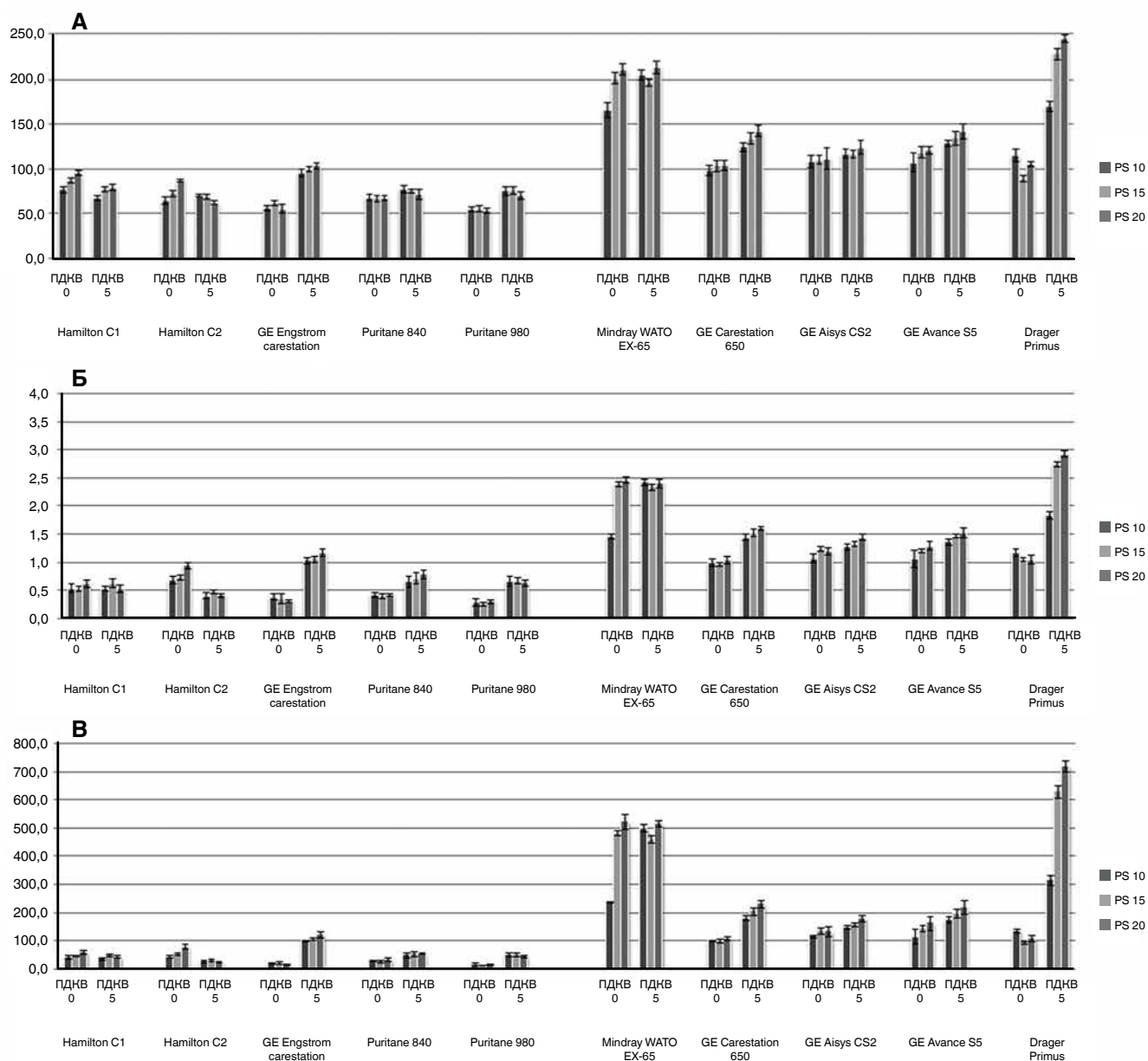


Рис. 3. Показатели, характеризующие работу триггерной системы реанимационных и наркозно-дыхательных аппаратов ИВЛ, измеренные на трех уровнях давления поддержки (10, 15, 20 см H₂O) и двух уровнях ПДКВ (0, 5 см H₂O), в условиях слабой дыхательной попытки (P_{0,1} = -2 см H₂O):

А – время задержки срабатывания триггера (мс); Б – максимальное снижение давления при инициации вдоха (см H₂O); В – показатель РТР (мс × см H₂O)

Fig. 3. Parameters characterizing the operation of the trigger system of resuscitation and anesthetic-respiratory ventilators, measured at three levels of support pressure (10, 15, 20 cm H₂O) and two levels of PEEP (0.5 cm H₂O), under conditions of a weak respiratory attempt (P_{0,1} = -2 cm H₂O):

А – trigger delay time (ms);

Б – maximum pressure drop at the initiation of inhalation (cm H₂O);

В – PTP (ms × cm H₂O)

ного аппарата Dräger Primus и реанимационного аппарата ИВЛ GE Engström Carestation.

Оценка динамики набора давления поддержки

Показатели инспираторного давления через 300 и 500 мс после запуска вдоха аппаратом ИВЛ, измеренные при нулевом ПДКВ и при ПДКВ 5 см H₂O, а также при слабой и нормальной дыхательных попытках, представлены на рис. 5 и 6 соответственно. При измерении уровня достигнутого давления на 300-й и 500-й мс выявлено, что эти показатели

оказались ближе к целевому давлению поддержки у реанимационных аппаратов пневмокомпрессионной конструкции (GE Engström Carestation 12,34 ± 0,04 см H₂O, 14,79 ± 0,1 см H₂O; Puritane Bennette 840 12,37 ± 0,06 см H₂O, 14,54 ± 0,09 см H₂O; Puritane Bennette 980 12,49 ± 0,04 см H₂O, 14,74 ± 0,14 см H₂O). У турбинных респираторов эти показатели оказались приблизительно на 25–30% меньше (Hamilton C1 8,91 ± 0,02 см H₂O, 13,84 ± 0,11 см H₂O; Hamilton C2 8,04 ± 0,02 см H₂O,

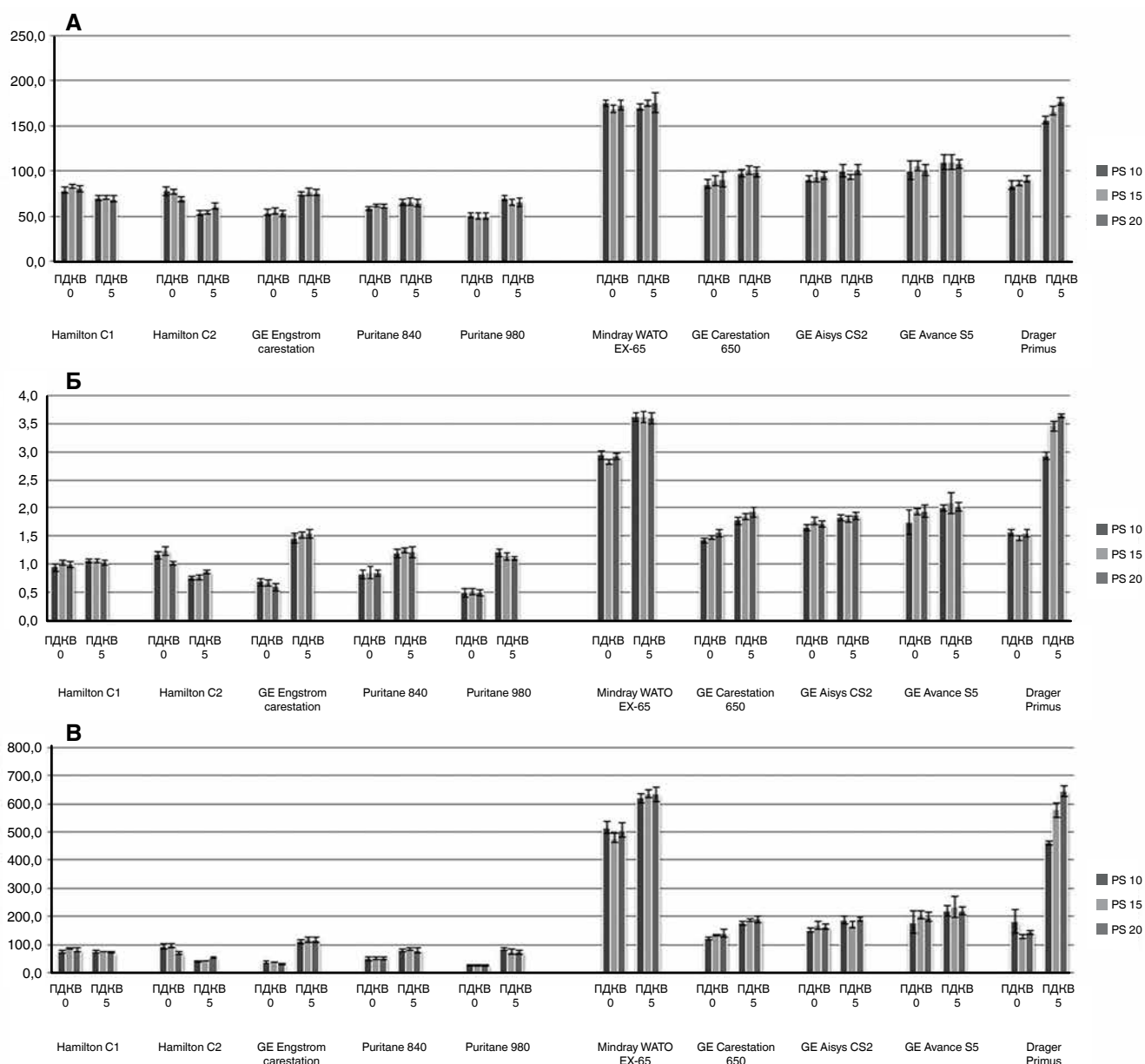


Рис. 4. Показатели, характеризующие работу триггерной системы реанимационных и наркозно-дыхательных аппаратов ИВЛ, измеренные на трех уровнях давления поддержки (10, 15, 20 см H₂O) и двух уровнях ПДКВ (0, 5 см H₂O), в условиях нормальной дыхательной попытки (P_{0,1} = -4 см H₂O):

A – время задержки срабатывания триггера (мс); Б – максимальное снижение давления при инициации вдоха (см H₂O); В – показатель РТР (мс × см H₂O)

Fig. 4. Parameters characterizing the operation of the trigger system of resuscitation and anesthetic-respiratory ventilators measured at three levels of support pressure (10, 15, 20 cm H₂O) and two levels of PEEP (0.5 cm H₂O), under conditions of a normal respiratory attempt (P_{0,1} = -4 cm H₂O):

A – trigger delay time (ms);

Б – maximum pressure drop at the initiation of inhalation (cm H₂O);

В – PTP (ms × cm H₂O)

9,73 ± 0,11 см H₂O). У наркозных аппаратов с двухконтурной пневматической конструкцией значения давления оказались меньше уже на 40% по сравнению с пневмокомпрессорными реанимационными респираторами (GE Avance S/5 5,88 ± 0,07 см H₂O, 9,99 ± 0,15 см H₂O, GE Carestation 650 7,11 ± 0,03 см H₂O, 11,46 ± 0,10 см H₂O, GE Aisys CS2 6,62 ± 0,04 см H₂O, 10,72 ± 0,08 см H₂O, Mindray WATO EX-65 5,14 ± 0,04 см H₂O, 8,37 ± 0,04 см H₂O). Все наркозные аппараты были далеки от целевого

давления поддержки через 500 мс от запуска вдоха аппаратом в отличие от большинства реанимационных аппаратов ИВЛ. Максимально приблизился к пневмокомпрессорным реанимационным аппаратам по этому показателю и даже обошел турбинные респираторы (p < 0,01) наркозный аппарат электропоршневой конструкции Dräger Primus (10,17 ± 0,03 см H₂O, 13,87 ± 0,08 см H₂O).

С целью стандартизации все представленные цифры приведены для измерения с нормальной

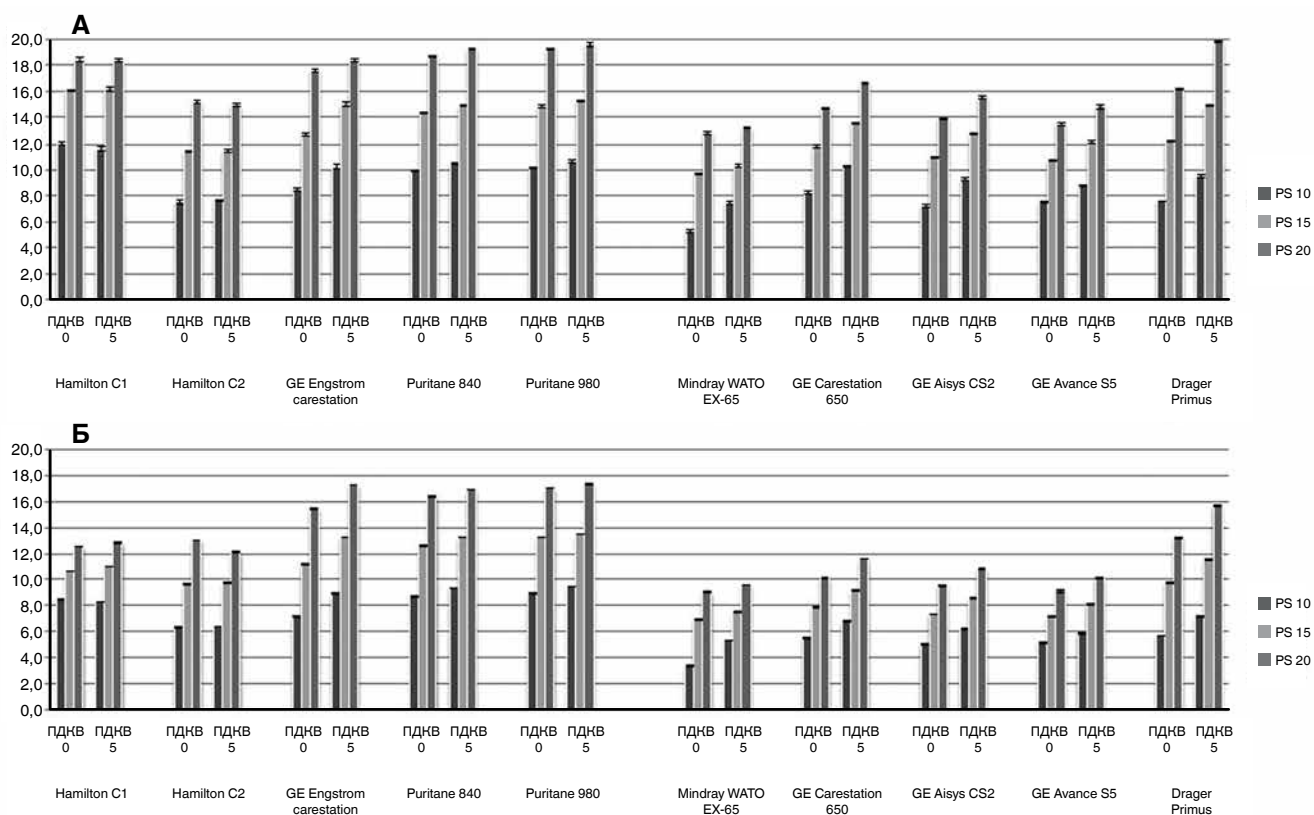


Рис. 5. Показатели инспираторного давления через 300 и 500 мс после запуска вдоха аппаратом ИВЛ, измеренные на трех уровнях давления поддержки (10, 15, 20 см H₂O) и двух уровнях ПДКВ (0, 5 см H₂O), в условиях слабой дыхательной попытки (P_{0,1} = -2 см H₂O):

А – уровень достигнутого давления на 300-й мс от начала вдоха респиратором (мс × см H₂O);

Б – уровень достигнутого давления на 500-й мс от начала вдоха респиратором (мс × см H₂O)

Fig. 5. Inspiratory pressure parameters in 300 and 500 ms after the start of inspiration by the ventilator measured at three levels of support pressure (10, 15, 20 cm H₂O) and two levels of PEEP (0.5 cm H₂O), under conditions of a weak respiratory attempt (P_{0,1} = -2 cm H₂O):

А – the level of pressure achieved at the 300th ms from the beginning of inhalation by the respirator (ms × cm H₂O);

Б – the level of pressure achieved at the 500th ms from the beginning of inhalation by the respirator (ms × cm H₂O)

дыхательной попыткой (P_{0,1} = -4 см H₂O) при давлении поддержки = 15 см H₂O, ПДКВ = 5 см H₂O. По каждому аппарату приведены две цифры набранного давления поддержки на 300-й и 500-й мс соответственно.

При испытании реанимационных аппаратов ИВЛ уровень ПДКВ не оказывал значительного влияния на скорость набора заданного давления поддержки, однако в случае наркотных аппаратов наличие ПДКВ выгодно влияло на скорость набора заданного давления (p < 0,001).

Работа наркотно-дыхательных аппаратов на различных потоках

Не выявлено очевидной закономерности при сравнении показателей различных наркотно-дыхательных аппаратов при потоке свежей газовой смеси 0,5 и 10 л/мин.

Обсуждение

Цель данного исследования, проведенного с помощью дыхательного симулятора ASL 5000, – сравнение работы некоторых наркотно-дыхательных аппаратов с реанимационными респираторами. Такое

исследование было бы абсолютно невозможным в клинических условиях, поскольку только при помощи моделирующего устройства можно обеспечить полностью идентичные вдохи с неизменной механикой дыхания.

Опубликованы результаты довольно многих исследований, в которых проводили сравнение различных типов реанимационных аппаратов ИВЛ [4, 19, 23], однако работ, нацеленных на оценку режима PSV на наркотно-дыхательных аппаратах, немного [12], хотя режим PSV все чаще применяется в анестезиологической практике, а ряд авторов описывают его положительные свойства [6, 7, 8, 15, 27].

Работу триггерной системы мы оценивали с помощью трех показателей. Необходимо отметить, что временная задержка отклика аппарата на дыхательную попытку пациента является, пожалуй, ключевым показателем работы триггерной системы. У большинства реанимационных респираторов этот показатель не превышает 100 мс. Такое значение данного параметра считается приемлемым и оптимальным для большинства пациентов [25]. У тестируемых реанимационных аппаратов ИВЛ данный показатель не превышал 80 мс. У большинства нар-

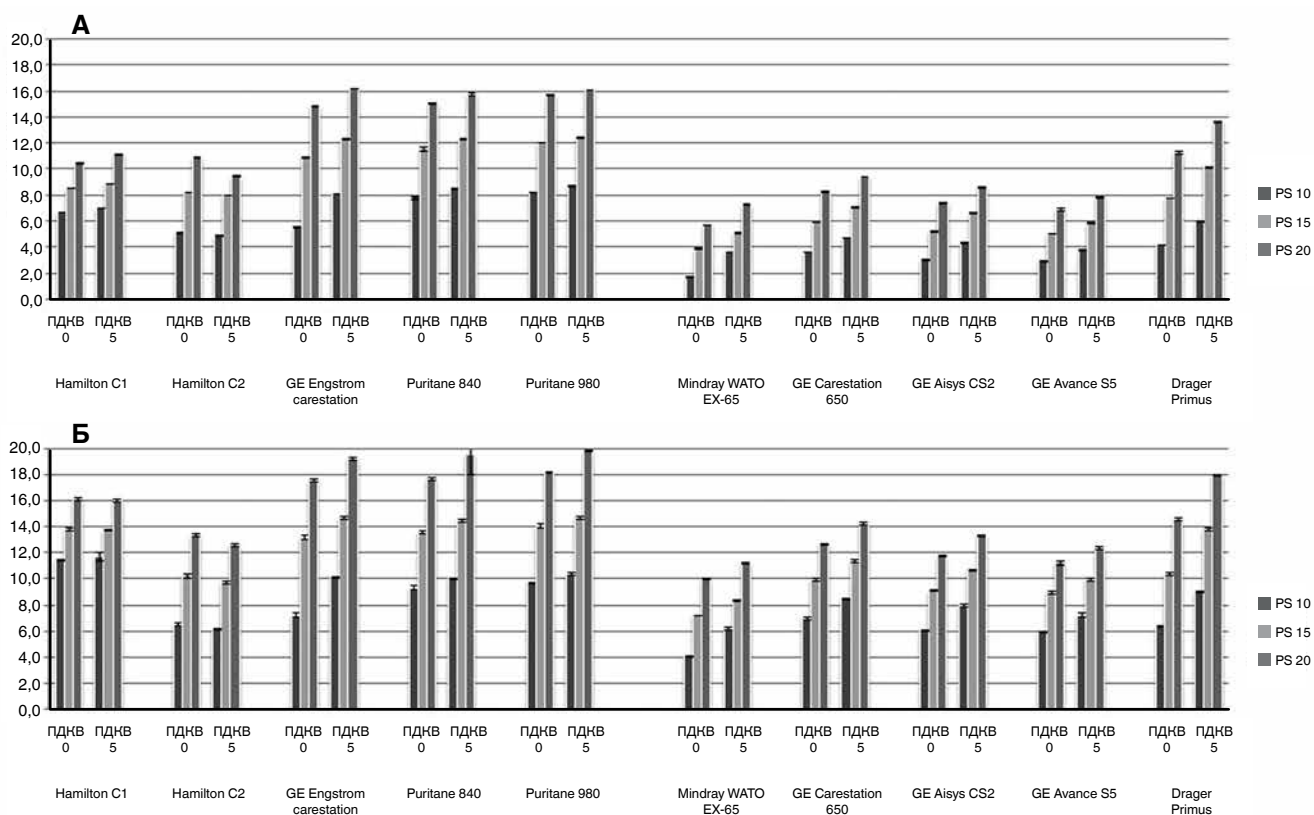


Рис. 6. Показатели инспираторного давления через 300 и 500 мс после запуска вдоха аппаратом ИВЛ, измеренные на трех уровнях давления поддержки (10, 15, 20 см H₂O) и двух уровнях ПДКВ (0, 5 см H₂O), в условиях нормальной дыхательной попытки (P_{0,1} = -4 см H₂O):

А – уровень достигнутого давления на 300-й мс от начала вдоха респиратором (мс × см H₂O);

Б – уровень достигнутого давления на 500-й мс от начала вдоха респиратором (мс × см H₂O)

Fig. 6. Inspiratory pressure readings 300 and 500 ms after the ventilator initiates inspiration measured at three levels of support pressure (10, 15, 20 cm H₂O) and two levels of PEEP (0.5 cm H₂O), under conditions of a normal respiratory attempt (P_{0,1} = -4 cm H₂O):

А – the level of pressure achieved at the 300th ms from the beginning of inhalation by the respirator (ms × cm H₂O);

Б – the level of pressure achieved at the 500th ms from the beginning of inhalation by the respirator (ms × cm H₂O)

козно-дыхательных аппаратов он составлял около 100 мс, что несколько больше, чем у реанимационных, однако с клинических позиций, по-видимому, является вполне приемлемым. У двух наркозных аппаратов, которые уже давно используются в клинической практике, временная задержка триггерной системы составила порядка 150–200 мс, что, вероятнее всего, может оказывать значимое влияние на комфорт дыхания пациента.

Максимальное снижение давления ниже ПДКВ до запуска вдоха аппаратом тесно связано с предыдущим показателем, поскольку замедление в ответе на инспираторную попытку приводит к созданию большего разряжения давления перед запуском вдоха. Вероятно, оптимальный диапазон для этого показателя составляет 1–2 см H₂O. Как правило, в этом интервале выставляется чувствительность инспираторного триггера по давлению. Если снижение давления достигает 4 см H₂O, пациент уже может испытывать дискомфорт при осуществлении дыхательной попытки.

У большинства тестируемых наркозно-дыхательных аппаратов максимальное снижение давления ниже ПДКВ составило 1,5–2,0 см H₂O, и по этому

показателю они превосходят реанимационные аппараты ИВЛ начала 2000-х (3,67 ± 1,78 см H₂O) [21]. У тестируемых в данном исследовании реанимационных респираторов этот показатель составил 1,0–1,5 см H₂O.

Таким образом, все реанимационные аппараты по каждому из сравниваемых показателей срабатывания триггера (задержка триггера, максимальное снижение давления, РТР) превосходят наркозно-дыхательные. Обусловлено это, скорее всего, принципиальными отличиями в конструкции их приводов. Однако у современных аппаратов различия этих показателей не столь существенные и клинически вряд ли являются значимыми.

На основании полученных данных не выявлено существенных различий между турбинными и компрессорными реанимационными респираторами. Интересно, что применение ПДКВ у наркозно-дыхательных аппаратов поршневой конструкции существенно затрудняло работу триггерной системы, а у аппаратов пневматической двухконтурной конструкции оказывало лишь незначительное влияние.

Касательно показателей, характеризующих набор заданного давления поддержки, установлено, что

большинство реанимационных респираторов превосходят наркозные. Это, вероятнее всего, связано с особенностями привода.

Сравнение данного показателя в некоторой степени условно, поскольку время достижения заданного давления поддержки устанавливается на реанимационных аппаратах ИВЛ более точным образом, на наркотно-дыхательных же аппаратах оно, как правило, задается в неких условных единицах. Тем не менее напомним, что с целью стандартизации данный показатель устанавливался на минимальную величину для каждого аппарата.

Наиболее быстрый набор давления обеспечивали реанимационные аппараты с пневмокомпрессорным приводом, уровень достигнутого давления на 300-й и 500-й мс у турбинных аппаратов оказался приблизительно на четверть меньше. У наркотно-дыхательных машин двухконтурной пневматической конструкции показатели давления в этих точках оказались меньше уже на 40%. Однако уровень достигнутого давления через 300 и 500 мс от начала вдоха у наркотно-дыхательного аппарата Dräger Primus с электропоршневым приводом максимально приблизился к пневмокомпрессорным ИВЛ и оказался выше, чем у турбинных. Клиническая интерпретация данных результатов сложна, поскольку в литературе отсутствуют сведения о нормальных значениях этих показателей.

С уверенностью можно утверждать, что корректность работы триггерного механизма имеет ключевое значение в эффективности работы режима PSV. Некорректно функционирующий механизм запуска вдоха заставляет пациента совершать лишние усилия, в то время как данный режим в первую очередь направлен на их оптимизацию и снижение. При значительной задержке срабатывания триггера, которую описывают три представленных параметра (задержка триггера, падение давления до его срабатывания, продукт давление – время до запуска вдоха), условный пациент с тахипноэ может сделать до половины вдоха, не получая при этом свежей газовой смеси. Это может привести к значительному увеличению работы дыхания, а также пагубно отразиться на его газообмене.

Низкий уровень давления через 300 и 500 мс после запуска вдоха может свидетельствовать о неадекватном инспираторном потоке, т. е. пациент совершает мышечные усилия, но респиратор не обеспечивает необходимую скорость потока для достижения целевого уровня давления поддержки. Это может вызвать выраженную асинхронию с аппаратом ИВЛ и, как следствие, привести к нарушениям газообмена и увеличению работы дыхания. Все тестируемые наркотно-дыхательные аппараты не достигали целевого уровня давления поддержки даже через 500 мс от запуска вдоха аппаратом в отличие от большинства реанимационных аппаратов ИВЛ. Сложно сказать, как это скажется на больных, у которых PSV используется во время анестезии, но рутинное использование наркотно-дыхательных

аппаратов для продленной искусственной вентиляции у пациента с сохраненным респираторным драйвом в условиях ОРИТ определенно представляется сомнительным.

Во время общей анестезии некорректная работа аппарата в режиме PSV и развитие асинхронии могут привести не только к ухудшению газообмена, но и к увеличению потребления анестетика, что в свою очередь повлечет продление времени пробуждения, экстубации и перевода из операционной.

Более широкое применение режима PSV в условиях операционной в последнее десятилетие, возможно, связано с более широким использованием ларингеальных масок, постановка которых не требует введения миорелаксантов. Считается, что применение этого режима наиболее оправдано при малоинвазивных хирургических вмешательствах, при которых не требуется введения больших доз наркотических анальгетиков. До широкого распространения режима PSV на наркотно-дыхательных аппаратах при проведении анестезии с сохраненным респираторным драйвом зачастую вентиляция проводилась в режиме полного самостоятельного дыхания без поддержки давлением, ряд авторов показали, что использование PSV в такой ситуации приводит к улучшению газообмена [5, 6]. Кроме того, существуют работы, демонстрирующие пользу от применения данного режима во время проведения преоксигенации, особенно у больных с ожирением. Он позволяет снизить количество ателектазов, увеличить ФОЕ и тем самым снизить частоту десатурации во время интубации трахеи [9]. Также режим поддержки давлением используется в конце некоторых операций при анестезии, сопровождающейся интубацией трахеи, для обеспечения комфорта пациента при пробуждении, снижения частоты кашля [20] и уменьшения частоты развития ателектазов [13].

В заключение стоит отметить, что в последнее время появляется все больше анестезиологических респираторов, у которых в качестве привода используется турбина, как у многих современных реанимационных аппаратов. Качество реализации режима PSV на таких наркотно-дыхательных аппаратах, по-видимому, ничем не отличается от реанимационных респираторов.

Вывод

По показателям, характеризующим работу триггерной системы, современные наркотно-дыхательные аппараты, в отличие от аппаратов более ранней разработки, сопоставимы с реанимационными аппаратами ИВЛ, хоть и несколько им уступают. При оценке паттерна набора заданного давления поддержки установлено, что наркотно-дыхательные аппараты пневматической двухконтурной конструкции, в отличие от электропоршневых, значительно уступают реанимационным аппаратам ИВЛ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.
Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Власенко А. В., Евдокимов Е. А., Родионов Е. П. Современные принципы коррекции гипоксии при ОРДС различного генеза. Часть 1 // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 61–78. <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2020-17-3-61-78>.
2. Мороз В. В., Лихванцев В. В., Федоров С. А. и др. Общая анестезия с сохраненным спонтанным дыханием через интубационную трубку // Общая реаниматология. – 2010. – Т. 6, № 4. – С. 43–48. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2010-4-43>.
3. Aslanian P, El Atrous S, Isabey D et al. Effects of flow triggering on breathing effort during partial ventilator support // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 1998. – Vol. 157. – P. 135–143. doi: 10.1164/ajrccm.157.1.96-12052.
4. Battisti A., Tassaux D., Janssens J. et al. Performance characteristics of ten mechanical ventilators in pressure support: A comparative bench study // *Chest.* – 2005. – Vol. 127. – P. 1784–1792. doi: 10.1378/chest.127.5.1784.
5. Brimacombe J., Keller C., Hormann C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure with the laryngeal mask airway // *Anesthesiology.* – 2000. – Vol. 92. – P. 1621–1623. doi: 10.1097/0000542-200006000-00019.
6. Capdevila X., Jung B., Bernard N. et al. Effects of pressure support ventilation mode on emergence time and intra-operative ventilatory function: a randomized controlled trial // *PLoS ONE.* – 2014. – Vol. 9, № 12. – P. 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0115139.
7. Christie J. M., Smith R. A., Christie J. M. et al. Pressure support ventilation decreases inspiratory work of breathing during general anesthesia and spontaneous ventilation // *Anesth. Analg.* – 1992. – Vol. 75. – P. 167–171. doi: 10.1213/0000539-199208000-00003.
8. Drummond G. B. Spontaneous breathing during anaesthesia: first, do no harm. // *Signa Vitae – J. Int. Care Emerg. Med.* – 2007. – Vol. 2. – P. 6–9. doi:10.22514/SV22.102007.1.
9. Harbut P., Gozdzik W., Stjernfält E. et al. Continuous positive airway pressure/pressure support pre-oxygenation of morbidly obese patients // *Acta Anaesthesiol Scand.* – 2014. – Vol. 58, № 6. – P. 675–680. doi: 10.1111/aas.12317.
10. Hemmes S. N., Gama de Abreu M. et al. PROVE Network Investigators for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology, High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): A multicentre randomised controlled trial // *Lancet.* – 2014. – Vol. 384. – P. 495–503. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60416-5.
11. Jaber S., Coisel Y., Chanques G. et al. A multicentre observational study of intra-operative ventilatory management during general anaesthesia: tidal volumes and relation to body weight // *Anaesthesia.* – 2012. – Vol. 67. – P. 999–1008. doi: 10.1111/j.1365-2044.2012.07218.x.
12. Jaber S., Tassaux D., Sebbane M. et al. Performance characteristics of five new anesthesia ventilators and four intensive care ventilators in pressure-support mode // *Anesthesiology.* – 2006. – Vol. 105. – P. 944–952. doi: 10.1097/0000542-200611000-00015.
13. Jeong H., Tanatporn P., Ahn H. J. et al. Support versus spontaneous ventilation during anesthetic emergence - effect on postoperative atelectasis. A randomized controlled trial // *Anesthesiology.* – 2021. – Vol. 135. – P. 1004–1014. doi: 10.1097/ALN.0000000000003997.
14. Kuhlen R., Putensen C. Maintaining spontaneous breathing efforts during mechanical ventilatory support // *Int. Care Med.* – 1999. – Vol. 25. – P. 1203–1205. doi: 10.1007/s001340051045.
15. Moharana S., Jain D., Bhardwaj N. et al. Pressure support ventilation-pro decreases propofol consumption and improves postoperative oxygenation index compared with pressure-controlled ventilation in children undergoing ambulatory surgery: a randomized controlled trial // *Can. J. Anaesth.* – 2020. – Vol. 67, № 4. – P. 445–451. doi: 10.1007/s12630-019-01556-9.
16. Pearl R. G., Rosenthal M. H. Pressure support ventilation: Technology transfer from the intensive care unit to the operating room // *Anesth. Analg.* – 1992. – Vol. 75. – P. 161–163. doi: 10.1213/0000539-199208000-00001.
17. Putensen C., Zech S., Wrigge H. et al. Long-term effects of spontaneous breathing during ventilatory support in patients with acute lung injury // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2001. – Vol. 164. – P. 43–49. doi: 10.1164/ajrccm.164.1.2001078.
1. Vlasenko A.V., Evdokimov E.A., Rodionov E.P. Contemporary principles of hypoxia management in case of ARDS of various origin. Part 1. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 61-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2020-17-3-61-78>.
2. Moroz V.V., Likhvantsev V.V., Fedorov S.A. et al. General anesthesia with preserved spontaneous breathing through an endotracheal tube. *Obschaya Reanimatologiya*, 2010, vol. 6, no. 4, pp. 43–48. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2010-4-43>.
3. Aslanian P, El Atrous S, Isabey D et al. Effects of flow triggering on breathing effort during partial ventilator support. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 1998, vol. 157, pp. 135-143. doi: 10.1164/ajrccm.157.1.96-12052.
4. Battisti A., Tassaux D., Janssens J. et al. Performance characteristics of ten mechanical ventilators in pressure support: A comparative bench study. *Chest*, 2005, vol. 127, pp. 1784-1792. doi: 10.1378/chest.127.5.1784.
5. Brimacombe J., Keller C., Hormann C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure with the laryngeal mask airway. *Anesthesiology*, 2000, vol. 92, pp. 1621-1623. doi: 10.1097/0000542-200006000-00019.
6. Capdevila X., Jung B., Bernard N. et al. Effects of pressure support ventilation mode on emergence time and intra-operative ventilatory function: a randomized controlled trial. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 12, pp. 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0115139.
7. Christie J.M., Smith R.A., Christie J.M. et al. Pressure support ventilation decreases inspiratory work of breathing during general anesthesia and spontaneous ventilation. *Anesth. Analg.*, 1992, vol. 75, pp. 167–171. doi: 10.1213/0000539-199208000-00003.
8. Drummond G.B. Spontaneous breathing during anaesthesia: first, do no harm. *Signa Vitae – J. Int. Care Emerg. Med.*, 2007, vol. 2, pp. 6–9. doi: 10.22514/SV22.102007.1.
9. Harbut P., Gozdzik W., Stjernfält E. et al. Continuous positive airway pressure/pressure support pre-oxygenation of morbidly obese patients. *Acta Anaesthesiol Scand.*, 2014, vol. 58, no. 6, pp. 675–680. doi: 10.1111/aas.12317.
10. Hemmes S.N., Gama de Abreu M. et al. PROVE Network Investigators for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology, High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): A multicentre randomised controlled trial. *Lancet*, 2014, vol. 384, pp. 495–503. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60416-5.
11. Jaber S., Coisel Y., Chanques G. et al. A multicentre observational study of intra-operative ventilatory management during general anaesthesia: tidal volumes and relation to body weight. *Anaesthesia*, 2012, vol. 67, pp. 999-1008. doi: 10.1111/j.1365-2044.2012.07218.x.
12. Jaber S., Tassaux D., Sebbane M. et al. Performance characteristics of five new anesthesia ventilators and four intensive care ventilators in pressure-support mode. *Anesthesiology*, 2006, vol. 105, pp. 944-952. doi: 10.1097/0000542-200611000-00015.
13. Jeong H., Tanatporn P., Ahn H.J. et al. Support versus spontaneous ventilation during anesthetic emergence - effect on postoperative atelectasis. A randomized controlled trial. *Anesthesiology*, 2021, vol. 135, pp. 1004-1014. doi: 10.1097/ALN.0000000000003997.
14. Kuhlen R., Putensen C. Maintaining spontaneous breathing efforts during mechanical ventilatory support. *Int. Care Med.*, 1999, vol. 25, pp. 1203-1205. doi: 10.1007/s001340051045.
15. Moharana S., Jain D., Bhardwaj N. et al. Pressure support ventilation-pro decreases propofol consumption and improves postoperative oxygenation index compared with pressure-controlled ventilation in children undergoing ambulatory surgery: a randomized controlled trial. *Can. J. Anaesth.*, 2020, vol. 67, no. 4, pp. 445-451. doi: 10.1007/s12630-019-01556-9.
16. Pearl R.G., Rosenthal M.H. Pressure support ventilation: Technology transfer from the intensive care unit to the operating room. *Anesth. Analg.*, 1992, vol. 75, pp. 161-163. doi: 10.1213/0000539-199208000-00001.
17. Putensen C., Zech S., Wrigge H. et al. Long-term effects of spontaneous breathing during ventilatory support in patients with acute lung injury. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2001, vol. 164, pp. 43-49. doi: 10.1164/ajrccm.164.1.2001078.

18. Rajnish K. J., Swaminathan S. Anaesthesia Ventilators review article // *Indian J. Anaesth.* – 2013. – Vol. 57, № 5. – P. 525–532. doi: 10.4103/0019-5049.120150.
19. Richard J. C., Carlucci A., Breton L. et al. Bench testing of pressure support ventilation with three different generations of ventilators // *Int. Care Med.* – 2002. – Vol. 28. – P. 1049–1057. doi: 10.1007/s00134-002-1311-9.
20. Richardson P. B. et al. Extubation after anaesthesia: a randomised comparison of three techniques // *Acta Clin. Croat.* – 2012. – Vol. 51, № 3. – P. 529–535. PMID: 23330427.
21. Takeuchi M., Williams P., Hess D., Kacmarek R. Continuous positive airway pressure in new-generation mechanical ventilators: A lung model study // *Anesthesiology.* – 2002. – Vol. 96. – P. 162–172. doi: 10.1097/0000542-20021000-00030.
22. Tantawy H., Ehrenwerth J. Pressure-support ventilation in the operating room. Do we need it? // *Anesthesiology.* – 2006. – Vol. 105. – P. 873–876. doi: 10.1097/0000542-200611000-00004.
23. Tassaux D., Strasser S., Fonseca S. et al. Comparative bench study of triggering, pressurization, and cycling between the home ventilator VPAP II and three ICU ventilators // *Int. Care Med.* – 2002. – Vol. 28. – P. 1254–1261. doi: 10.1007/s00134-002-1421-4.
24. Teradoa M., Ichibab S., Nagano O., Ujikea Y. Evaluation of pressure support ventilation with seven different ventilators using active servo lung 5000 // *Acta Med. Okayama.* – 2008. – Vol. 62, № 2. – P. 127–133. doi: 10.18926/AMO/30963.
25. Tobin M. J. Principles and Practice of Mechanical Ventilation, third edition. New York: McGraw Hill medical, 2013.
26. Zanetta G., Robert D., Guerin C. Evaluation of ventilators used during transport of ICU patients: A bench study // *Int. Care Med.* – 2002. – Vol. 28. – P. 443–451. doi: 10.1007/s00134-002-1242-5.
27. Zoremba M., Kalmus G., Dette F. et al. Effect of intra-operative pressure support vs pressure controlled ventilation on oxygenation and lung function in moderately obese adults. // *Anaesthesia.* – 2010. – Vol. 65. – P. 124–129. doi: 10.1111/j.1365-2044.2009.06187.x.
18. Rajnish K.J., Swaminathan S. Anaesthesia Ventilators review article. *Indian J. Anaesth.*, 2013, vol. 57, no. 5, pp. 525–532. doi: 10.4103/0019-5049.120150.
19. Richard J. C., Carlucci A., Breton L. et al. Bench testing of pressure support ventilation with three different generations of ventilators. *Int. Care Med.*, 2002, vol. 28, pp. 1049-1057. doi: 10.1007/s00134-002-1311-9.
20. Richardson P.B. et al. Extubation after anaesthesia: a randomised comparison of three techniques. *Acta Clin. Croat.*, 2012, vol. 51, no. 3, pp. 529–535. PMID: 23330427.
21. Takeuchi M., Williams P., Hess D., Kacmarek R. Continuous positive airway pressure in new-generation mechanical ventilators: A lung model study. *Anesthesiology*, 2002, vol. 96, pp. 162-172. doi: 10.1097/0000542-20021000-00030.
22. Tantawy H., Ehrenwerth J. Pressure-support ventilation in the operating room. Do we need it? *Anesthesiology*, 2006, vol. 105, pp. 873-876. doi: 10.1097/0000542-200611000-00004.
23. Tassaux D., Strasser S., Fonseca S. et al. Comparative bench study of triggering, pressurization, and cycling between the home ventilator VPAP II and three ICU ventilators. *Int. Care Med.*, 2002, vol. 28, pp. 1254-1261. doi: 10.1007/s00134-002-1421-4.
24. Teradoa M., Ichibab S., Nagano O., Ujikea Y. Evaluation of pressure support ventilation with seven different ventilators using active servo lung 5000. *Acta Med. Okayama*, 2008, vol. 62, no. 2, pp. 127-133. doi: 10.18926/AMO/30963.
25. Tobin M.J. Principles and Practice of Mechanical Ventilation, third edition. New York, McGraw Hill medical, 2013.
26. Zanetta G., Robert D., Guerin C. Evaluation of ventilators used during transport of ICU patients: A bench study. *Int. Care Med.*, 2002, vol. 28, pp. 443–451. doi: 10.1007/s00134-002-1242-5.
27. Zoremba M., Kalmus G., Dette F. et al. Effect of intra-operative pressure support vs pressure controlled ventilation on oxygenation and lung function in moderately obese adults. *Anaesthesia*, 2010, vol. 65, pp. 124–129. doi: 10.1111/j.1365-2044.2009.06187.x

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский
государственный медицинский университет
им. акад. И. П. Павлова» МЗ РФ,
197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8.
Тел.: 8 (812) 338–60–77.

Пыжов Василий Анатольевич

аспирант кафедры анестезиологии и реаниматологии,
врач – анестезиолог-реаниматолог отделения
анестезиологии и реанимации № 2 Научно-клинического
центра анестезиологии и реаниматологии.
E-mail: vasilij.pyzhov@yandex.ru

Храпов Кирилл Николаевич

доктор медицинских наук, профессор кафедры
анестезиологии и реаниматологии, главный научный
сотрудник Научно-клинического центра анестезиологии
и реаниматологии.
E-mail: khrapov.kirill@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Pavlov First Saint Petersburg
State Medical University,
6-8, Lva Tolstogo St.,
St. Petersburg, 197022.
Phone: +7 (812) 338-60-77.

Vasilij A. Pyzhov

Post Graduate Student of Anesthesiology and Intensive
Care Department, Emergency Physician of Anesthesiology
and Intensive Care Unit no. 2 of Research Clinical Center
of Anesthesiology and Intensive Care.
Email: vasilij.pyzhov@yandex.ru

Kirill N. Khrapov

Doctor of Medical Sciences, Professor of Anesthesiology
and Intensive Care Department,
Chief Researcher of Research Clinical Center
of Anesthesiology and Intensive Care.
Email: khrapov.kirill@mail.ru