

# Респираторная поддержка после кардиохирургических операций: преимущества и безопасность автоматизированного управления

А. А. Ерёмченко, Р. Д. Комнов\*, Е. А. Кошек

Российский научный центр хирургии им. академика Б. В. Петровского,  
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2

**Для цитирования:** А. А. Ерёмченко, Р. Д. Комнов, Е. А. Кошек. Респираторная поддержка после кардиохирургических операций: преимущества и безопасность автоматизированного управления. *Общая реаниматология*. 2022; 18 (3): 21–29. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2022-3-21-29> [На русск. и англ.]

## Резюме

**Цель исследования:** сравнить эффективность и безопасность применения интеллектуальных режимов полуавтономного (ASV) и полностью автономного (Intellivent-ASV) управления респираторной поддержкой с врачом протоколом у кардиохирургических пациентов.

**Материалы и методы.** Сравнили вентиляцию в полностью автоматизированном режиме Intellivent-ASV (40 пациентов), полуавтоматизированном режиме (ASV — 40 больных) и традиционные режимы вентиляции (40 пациентов), которой управляли 8 врачей ОРИТ.

**Результаты.** В группе Intellivent-ASV количество вносимых изменений в настройки респиратора было значительно ниже — 0 (0–0) против 2 (2–3) (ASV) и 4 (3–5) в контрольной группе ( $p < 0,0001$ ).

Значимо различалась длительность респираторной поддержки в ОРИТ:  $226 \pm 31$  мин (Intellivent-ASV) против  $259 \pm 66$  мин (ASV) и  $271 \pm 78$  мин (контрольная группа) ( $p = 0,0042$ ;  $p_{1-2} = 0,0167$ ;  $p_{1-3} = 0,009$ ).

В группе Intellivent-ASV проводили более протективную вентиляцию легких, чем при полуавтоматическом и врачом управлении (меньшие значения driving pressure (6 (6–7) см вод. ст. против 6 (6–7) и 7 (7–9) см вод. ст. ( $p < 0,0001$ )), дыхательного объема (6 (6–7) против 7 (7–7,7) и 7 (7–8) мл/кг/PBW ( $p < 0,0001$ )), используемого  $\text{FiO}_2$  (26 (24–30)% против 34 (30–35)% и 34 (30–38)%) при отсутствии различий между группами по индексу  $\text{raO}_2/\text{FiO}_2$ .

Значимых различий по частоте нежелательных событий во время респираторной поддержки, длительности госпитализации в ОРИТ не получили.

**Заключение.** Применение интеллектуальных технологий дает возможность интерактивно персонализировать проводимую респираторную поддержку, значительно снижая участие клинициста в этом процессе без ущерба безопасности пациента и качеству проводимой вентиляции.

**Ключевые слова:** *automatic weaning, Intellivent-ASV; интеллектуальные режимы ИВЛ; ASV; кардиохирургия; интенсивная терапия*

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## The Efficacy and Safety of Automatic Modes During Respiratory Support After Cardiac Surgery

Alexander A. Yeremenko, Roman D. Komnov\*, Ekaterina A. Koshek

B.V. Petrovsky Russian Research Center for Surgery  
2 Abrikosov Lane, 119435 Moscow, Russia

## Summary

**Aims.** To compare the efficacy and safety of semiautonomous Adaptive Support Ventilation (ASV) and fully automated (closed-loop, Intellivent-ASV) mechanical ventilation and oxygenation versus conventional mechanical ventilation mode during respiratory support in cardiac surgery patients.

**Material and methods.** In this study, 40 adult patients were ventilated by conventional mechanical ventilation managed by 8 physicians (control group), whereas other two groups patients were ventilated by Intellivent-ASV ( $n=40$ ) or in a semiautomatic ASV mode ( $n=40$ ). The groups received standard care, except for the modes of ventilation.

**Results.** In the Intellivent-ASV group, the number of manual changes in ventilator settings was significantly lower: 0 (0–0) versus 2 (2–3) (ASV) and 4 (3–5) in the control group ( $P < 0.0001$ ). There were significant differences in the duration of respiratory support in ICU which was  $226 \pm 31$  min (Intellivent group) vs  $259 \pm 66$  (ASV) and  $271 \pm 78$  min (control) ( $P = 0.0042$ ;  $P_{1-2} = 0.0167$ ;  $P_{1-3} = 0.009$ ). The Intellivent-ASV group patients received more protective ventilation than patients in the semiautomated and physician-controlled groups (lower values of driving pressure (6 (6–7) cm  $\text{H}_2\text{O}$  vs. 6 (6–7) and 7 (7–9) cm  $\text{H}_2\text{O}$  ( $P < 0.0001$ )), tidal volume (6 (6–7) vs. 7 (7–7.7) and

Адрес для корреспонденции:

Роман Дмитриевич Комнов  
E-mail: drkom@mail.ru

Correspondence to:

Roman D. Komnov  
E-mail: drkom@mail.ru

7 (7–8) ml/kg/PBW ( $P<0.0001$ )),  $\text{FiO}_2$  (26 (24–30)% vs. 34 (30–35)% and 34 (30–38)%) with no differences between the groups in  $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ . There were no significant differences between the groups in frequency of undesirable events and duration of ICU stay.

**Conclusion.** The use of intelligent technologies makes it possible to interactively individualize respiratory support, significantly reducing clinician's involvement in this process without compromising patient safety and the quality of ventilation.

**Keywords:** *automatic weaning, Intellivent-ASV; intellectual modes of ventilation; ASV; cardiac surgery; intensive care*

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

The full text version of the paper is available at [www.reanimatology.com](http://www.reanimatology.com).

## Введение

Искусственная вентиляция легких — важный и неотъемлемый этап в реабилитации пациентов после оперативных вмешательств на открытом сердце. Современные протоколы и руководства по быстрому восстановлению после оперативных вмешательств рекомендуют стремиться к минимизации времени постоперационной респираторной поддержки [1]. Общемировым трендом становится перевод пациента на самостоятельное дыхание после кардиохирургической операции по согреванию пациента, достижению удовлетворительных показателей артериального газообмена, гемодинамической стабильности и уверенности в хорошем гемостазе [2]. Однако, даже при проведении кратковременной вентиляционной поддержки важно соблюдать основные принципы механической вентиляции легких: безопасность, комфорт, быстрый переход к вспомогательным режимам [3]. Большое внимание клиницисты уделяют безопасности проводимой респираторной поддержки, принимая во внимание, что описано вентилятор-ассоциированное повреждение в исходно интактных легких при установке повреждающих параметров ИВЛ: дыхательный объем больше 6 мл/кг И(П)МТ [идеальной (предсказанной) массы тела], низкий ПДКВ (РЕЕР) [4].

Таким образом, в современных условиях на врачей отделений интенсивной терапии ложится большая нагрузка по соблюдению всех стандартов протективной механической вентиляции легких у каждого пациента, а таких пациентов всегда несколько на каждого врача, и уследить за ежеминутно изменяющимися респираторными потребностями пациента на практике становится сложной задачей. Вопреки расхожему мнению на настоящий момент нет убедительных доказательств в пользу использования того или иного режима ИВЛ в клинической практике [2].

Совершенствование респираторов и обратной связи дали возможность применения «интеллектуальных технологий респираторной поддержки», когда аппараты непрерывно адаптируются к особенностям дыхания пациента и его респираторным потребностям. Они осуществляют обратную связь «больной—

респиратор—больной» (работают в замкнутом цикле — closed loop control), не только снижая при этом нагрузку на медицинский персонал, но зачастую с большей скоростью и точностью подбирая оптимальные параметры вентиляции [5]. Фактически аппарат заменяет некоторые функции врача по подбору оптимального режима ИВЛ или ВВЛ.

Известны работы, показавшие эффективность и безопасность применения этих режимов у пациентов с различным поражением легочной ткани (ОРДС, бронхо-обструктивные заболевания), с поражением головного мозга, при проведении послеоперационной респираторной поддержки [8–20]. При этом практически во всех работах сравнивалась какая-либо из интеллектуальных технологий с традиционными режимами; сравнения режимов ASV и Intellivent-ASV не проводились.

Цель исследования — сравнительная оценка эффективности и безопасности использования интеллектуальных режимов с частичным и полностью автономным управлением ИВЛ (ASV и Intellivent-ASV) и традиционного протокола с управлением параметрами вентиляции врачом-реаниматологом в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов.

## Материал и методы

Данное одноцентровое проспективное рандомизированное обсервационное сравнительное исследование было одобрено локальным этическим комитетом РНЦХ имени академика Б.В. Петровского и выполнено на базе отделения кардиореанимации и интенсивной терапии центра. Для рандомизации использовали метод конвертов.

В исследование включили 120 пациентов, по 40 пациентов в каждой группе, которые были оперированы на сердце и магистральных сосудах с января 2016 по декабрь 2019 года. Для рандомизации по группам использовали метод конвертов. Характеристику больных представили в табл. 1. Число пациентов в группах рассчитали с использованием программы G\*Power 3.1. На основании предшествующего пилотного исследования, где было 3 группы по 15 человек, определили среднее значение показателя «необходимость внесения ручных изменений в настройки респиратора», которое составило 1, 2, 4 соответственно, стандартное отклонение — 2.

Таблица 1. Общая характеристика и интраоперационные показатели пациентов.

| Показатели                                                                                                         | Значения показателей в группах |               |                               | p      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|--------|
|                                                                                                                    | Intellivent-ASV<br>(n=40)      | ASV<br>(n=40) | Врачебный<br>интерфейс (n=40) |        |
| Возраст, лет                                                                                                       | 59±8                           | 59 (55–66)    | 59±11                         | 0,9185 |
| Пол (м/ж)                                                                                                          | 27/13                          | 24/16         | 30/10                         | 0,1701 |
| Рост, см                                                                                                           | 171±9                          | 170±9         | 174 (167–177)                 | 0,8706 |
| Вес, кг                                                                                                            | 84 (71–95)                     | 84±14         | 82±12                         | 0,3755 |
| Предсказанная (идеальная) масса тела, кг                                                                           | 68 (52–75)                     | 65±10         | 67±8                          | 0,1529 |
| Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>                                                                               | 27,9±4                         | 28,6±4        | 27,2±3,6                      | 0,9185 |
| Предоперационный SpO <sub>2</sub> на воздухе                                                                       | 96 (95–97)                     | 96 (95–96)    | 96 (95–97)                    | 0,6971 |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , мм рт. ст. перед переводом в ОРИТ                                             | 310 (290–345)                  | 319±88        | 336±90                        | 0,4534 |
| Дыхательный объем (Vt, мл/кг/PBW)                                                                                  | 8 (7–9)                        | 9 (8–10)      | 9 (8–9)                       | 0,0757 |
| Положительное давление в дыхательных путях в конце выдоха (PEEP, см водн. ст.)                                     | 7(6–8)                         | 7 (5–8)       | 6 (5–8)                       | 0,2159 |
| Изолированная реваскуляризация миокарда                                                                            | 18                             | 20            | 16                            |        |
| АКШ + операция на клапане                                                                                          | 2                              | 5             | 2                             |        |
| Операция на сердечных клапанах (пластика или протезирование)                                                       | 12                             | 9             | 12                            |        |
| Замена корня аорты с протезированием или реимплантацией собственного аортального клапана (David/Bentall procedure) | 8                              | 4             | 10                            |        |
| Расширенная септальная миоэктомия                                                                                  | 0                              | 2             | 0                             |        |

**Примечание.** В табл. 1–3 данные представлены в виде медианы (межквартильный размах) или среднего (±SD); SD — стандартное отклонение. PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> — индекс Горовица, отношение напряжения кислорода в артериальной крови к фракции инсффлюируемого кислорода.

Произвели расчет стандартизованной разности (effect size), которая составила 0,62. С уровнем значимости 0,05, мощностью исследования 95%, минимально необходимое общее число исследуемых составило 45 в общем или 15 в каждой группе.

По вторичной конечной точке — показателю «величина дыхательного объема в мл/кг/PBW» также произвели расчет.

Среднее значение в группах составило 6, 7, 7 соответственно, среднеквадратическое отклонение — 1. Рассчитанная стандартизованная разность составила 0,47. С уровнем значимости 0,05, мощностью исследования 95%, необходимое общее число исследуемых составило 75 в общем или 25 на каждую группу.

Для получения некоторого запаса в случае непредвиденных обстоятельств нами отобрано по 40 человек в каждую группу или 120 в общем, что превышало минимально необходимое количество.

Критериями включения служили: пациенты, поступившие в отделение интенсивной терапии после оперативного вмешательства на сердце и восходящем отделе аорты; возраст более 18 лет; индекс массы тела от 18 до 35 кг/м<sup>2</sup>.

Критерии исключения: предоперационные — наличие у пациентов тяжелой почечной (снижение СКФ < 30 мл/мин), печеночной (повышение концентрации аспартат- и аланинаминотрансфераз (АСТ и АЛТ) выше 80 Ед./л) или сердечной недостаточности (фракция выброса левого желудочка менее 30%); постоперационные осложнения — послеоперационное кровотечение, периоперационный инфаркт миокарда, нестабильность гемодинамики, потребность в высоких дозах кардиотонических или вазопресорных препаратов [ВИИ (вазоинотропный индекс) > 12] или необходимость внутриаортальной баллонной контрпульсации, рефрактерная гипоксемия с PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> менее 150 мм рт. ст., аллергическая реакция

в периоперационном периоде, развитие судорог, делирия, ОНМК.

Основной конечной точкой исследования была сравнительная оценка нагрузки на врачебный персонал ОРИТ на основании количества подходов к аппарату, манипуляций с параметрами ИВЛ и времени, затраченного на изменения ручных настроек вентилятора. Вторичной конечной точкой исследования было изучение длительности послеоперационной вентиляционной поддержки в ОРИТ, частота развития нежелательных событий в процессе отлучения пациента от аппарата, безопасность проводимой вентиляции.

Учитывали анестезиологические особенности ведения пациентов, дозы анальгетиков, гипнотиков, миорелаксантов, (значимых различий между группами не было), сравнивали показатели интраоперационной оксигенации, величин дыхательных объемов и значений PEEP, использованных в операционной (табл. 1).

В группе традиционного подхода вентиляцию осуществляли на респираторах Hamilton G-5 или C-2 фирмы Hamilton (Швейцария) и на респираторах Servo-I фирмы Maquet. Режимы Intellivent-ASV и ASV применяли на аппарате Hamilton G-5 и C-2 (ASV). Выбор режима вентиляции осуществляли при поступлении в ОРИТ методом конвертов.

Adaptive Support Ventilation (ASV) (в буквальном переводе — адаптивная поддерживающая вентиляция легких) — это частично автоматический режим, который непрерывно подстраивает респираторную поддержку под состояние и клинические потребности пациента, основываясь на показателях биомеханики дыхания. Фактически он создан для интерактивного поддержания «респираторного комфорта» и ориентирован на скорейшее «отлучение» пациента от респиратора. В данном режиме микропроцессором респиратора регулируется величина давления вдоха для

достижения целевого дыхательного объема и частоты дыханий, сводя к минимуму работу органов дыхания, основывая расчеты на уравнениях OTIS [6] и Mead [7]. Кроме того, автоматически регулируется число принудительных и самостоятельных вдохов в зависимости от сохранности респираторного драйва пациента.

Режим Intellivent-ASV обеспечивает полностью автоматическое управление параметрами вентиляции легких пациента для достижения должного газообмена путем регулировки дыхательного объема (ДО), минутного объема дыхания (МОД), РЕЕР и  $\text{FiO}_2$ . Данный алгоритм осуществляется за счет непрерывного мониторинга параметров биомеханики дыхания и информации, получаемой с интегрированных в аппарат пульсоксиметрического и капнографического датчиков. Давление вдоха и оптимальная частота дыханий для минимизации работы дыхания рассчитываются, как и в базовом режиме, на основании уравнений OTIS и Mead. Также в данном режиме существует опция ранней активации автоматизированного отлучения пациентов от респиратора.

После оперативного вмешательства пациенты поступали в отделение интенсивной терапии на фоне продолжающейся медикаментозной седации пропофолом (1–2 мг/кг/ч) и ИВЛ транспортным респиратором Oxylog. До согревания пациента, стабилизации показателей оксигенирующей функции легких и параметров гемодинамики (60–90 минут от поступления в ОРИТ) продолжили медикаментозную седацию (значимых различий по длительности седации между группами не было).

Лечение пациентов проводили в соответствии со стандартными протоколами ведения кардиохирургических послеоперационных больных [2]. Аналгезию осуществляли по мультимодальному протоколу комбинацией нестероидных противовоспалительных средств и парацетамола с добавлением анальгетиков центрального действия (нефопам, трамадол).

**Особенности респираторной поддержки в группах сравнения.** В группе Intellivent-ASV при первичной настройке респиратора врач устанавливал рост и пол пациента, на основании чего микропроцессор респиратора получал вводную — «идеальная масса тела»; разрешение на автоматическое управление респиратором минутной вентиляцией,  $\text{FiO}_2$  и уровнем РЕЕР, при необходимости менял границы целевых значений  $\text{EtCO}_2$  и  $\text{SpO}_2$ ; разрешение на автоматическое выполнение теста спонтанного дыхания. Далее респираторная поддержка осуществлялась в автоматическом режиме, непрерывно при необходимости менялась минутная вентиляция в соответствии с показателями  $\text{EtCO}_2$ ; оптимальное соотношение частоты дыханий, уровень давления поддержки, дыхательный объем рассчитывались микропроцессором аппарата для уменьшения работы дыхания с учетом состояния легочной биомеханики, РЕЕР и  $\text{FiO}_2$  регулировались также автоматически в соответствии с данными пульсоксиметрии. При восстановлении респираторного драйва и нарастания собственной дыхательной ак-

тивности пациента постепенно менялось соотношение числа принудительных и спонтанных вдохов. После полного восстановления собственной дыхательной активности пациента и короткого обсервационного периода (10–60 минут), длительность которого устанавливалась клиницистом при настройке режима, аппарат проводил тест на эффективность спонтанного дыхания. В случае удачного прохождения теста пациентом аппарат оповещал медперсонал, который принимал решение о возможности экстубации трахеи.

В группе ASV при настройке аппарата врач устанавливал рост и вес пациента; целевое значение «замещения минутной вентиляции» в процентах [за 100% принимается «физиологическая» минутная вентиляция (у взрослых пациентов — 100 мл/кг идеальной массы тела в минуту)]. Также докторами устанавливался уровень  $\text{FiO}_2$ , и РЕЕР, предел максимального давления в дыхательных путях, ETS (expiratory trigger sensitivity — пороговое значение потока в процентах от максимального, при котором осуществляется переключение с вдоха на выдох), чувствительность триггера вдоха. Стоит признать, что при проведении респираторной поддержки большинство докторов оставляет начальные настройки чувствительности триггера вдоха, ETS и изменяет лишь  $\text{FiO}_2$ , РЕЕР и процент замещения минутной вентиляции, увеличивая или уменьшая его величину в зависимости от показателей капнографии или  $\text{PaCO}_2$  [20].

В группе врачебного интерфейса начальным режимом вентиляции был SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) с вдохами, управляемыми по объему (volume control) или по давлению (pressure control). Врачом вручную устанавливались  $\text{FiO}_2$ , РЕЕР, величина дыхательного объема или давления вдоха, частота дыханий и отношение длительности вдоха к выдоху. После пробуждения пациента, восстановления мышечного тонуса врачом редуцировалось число принудительных вдохов, при необходимости менялась величина дыхательного объема, давление поддержки самостоятельных вдохов. После восстановления респираторного драйва пациента респираторная поддержка до перевода на самостоятельное дыхание осуществлялась в режиме поддержки давлением (Pressure Support Ventilation).

Параметры респираторной поддержки, решение об экстубации трахеи во всех трех группах выбирал реаниматолог, осуществлявший лечение пациента. В исследовании было задействовано 8 докторов, каждый из которых участвовал в проведении респираторной поддержки у четырех–пяти пациентов в каждой из групп. Исследователь фиксировал и документировал все действия врачей и измерял затраченное ими время.

Параметры, регистрировавшиеся исследователем:

1. Непосредственно связанные с настройкой параметров респираторной поддержки: изменения режимов ИВЛ и ВВЛ (изменение частоты принудительных и самостоятельных вдохов), частота кор-

рекции параметров; величина ДО, уровень PS и PEEP, driving pressure и FiO<sub>2</sub>.

2. Связанные с присутствием врача около аппарата ИВЛ: количество подходов и вносимых изменений в настройки; суммарное время, проведенное около респиратора; необходимость коррекции в случае развития апноэ или брадипноэ.

3. Связанные с длительностью проводимой респираторной поддержки: общее время респираторной поддержки в ОРИТ; время искусственной и вспомогательной (без принудительных вдохов) вентиляции; время от пробуждения до перевода на самостоятельное дыхание; время от восстановления собственной дыхательной активности до перевода на ВВЛ.

Анализ артериального газообмена и кислотно-основного состояния осуществляли во время проведения ИВЛ, через 30 минут после перевода на вспомогательную вентиляцию и за 15 минут до экстубации трахеи на анализаторе газов и электролитов крови Gem Premier 4000 (Instrumentation Laboratory, США).

Во всех группах готовность к экстубации трахеи оценивали в соответствии с критериями внутреннего протокола отделения, основанного на международном протоколе «Evidence — based guidelines for weaning and discontinuation of ventilatory support» [21]: восстановление ясного сознания, выполнение команд, отсутствие ажитации при FiO<sub>2</sub> меньше 0,4, индексе PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> больше 200, положительном давлении в конце выдоха < 7 см вод. ст., стабильной гемодинамике, pH артериальной крови > 7,3–7,35 < PaCO<sub>2</sub> < 45 мм рт. ст., температура тела выше 36°C.

Для оценки безопасности проводимой респираторной поддержки анализировали величину дыхательного объема, движущее давление или разницу между давлением плато на вдохе и ПДКВ (driving pressure —  $\Delta P$ ), значение используемого FiO<sub>2</sub>, уровень ПДКВ и рассчитывали mechanical power [22] посредством упрощенных уравнений [23] (mechanical power — «механическая сила или мощность», совокупный оценочный показатель агрессивности проводимой вентиляции, учитывающий частоту дыхания, уровень PEEP, величину  $\Delta P$  и ДО).

Материалы исследования подвергли статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировку, систематизацию исходной информации и визуализацию полученных результатов осуществляли в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 10.0 (разработчик — Stat Soft, Inc). Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовали критерий Шапиро–Уилка. В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, полученные данные объединяли в вариационные ряды, в которых проводили расчет средних арифметических величин ( $M$ ) и стандартных отклонений ( $SD$ ). Совокупности количественных показателей,

распределение которых отличалось от нормального, описывали при помощи значений медианы ( $Me$ ) и межквартильного интервала (25 и 75 перцентилей). Номинальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Статистическую значимость различий количественных показателей, имеющих нормальное распределение, между группами оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа путем расчета критерия  $F$  с поправкой на множественные сравнения Бонферрони. При сравнении нескольких выборок количественных данных, имеющих распределение, отличное от нормального, использовали критерий Краскела–Уоллиса. Сравнение номинальных данных проводили при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона и точного критерия Фишера. Значение  $p$ -value менее 0,05 свидетельствовало о наличии статистически значимых различий.

## Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным, по мере роста вовлеченности аппарата в управление ИВЛ (от врачебного управления к режимам ASV и Intellivent-ASV) прогрессивно уменьшалась степень участия врача в проведении респираторной поддержки. Время, затраченное на управление ИВЛ в группе Intellivent-ASV, оказалось практически в три раза меньше, нежели в группе ASV и в четыре раза меньше, чем в группе врачебных указаний (табл. 2). При использовании Intellivent-ASV практически не требовалась коррекция параметров, в группе ASV по сравнению с врачебным управлением параметры корректировались в два раза реже.

Также в группах сравнения статистически значимо различалось время от поступления пациента в ОРИТ до экстубации трахеи. В группе полностью автоматического управления параметрами длительность респираторной поддержки была в среднем на 15% короче, чем в группе полуавтоматического и в группе врачебных решений (табл. 2).

В группах применения интеллектуальных режимов число навязанных вдохов автоматически редуцировалось по восстановлению респираторного драйва пациента, и фактически начиналась вентиляция легких во вспомогательном режиме и к пробуждению, как правило, все вдохи уже были спонтанными. Это соответствует современным рекомендациям, согласно которым большинству пациентов, нуждающихся в респираторной поддержке, рекомендованы режимы вспомогательной вентиляции (без аппаратных вдохов, параметры которых заданы врачом), так как это способствует лучшему расправлению базальных отделов легких, предотвращению атрофии дыхательной мускулатуры, более равномерному распределению газа, сокращению длительности респираторной поддержки и частоты развития вен-

**Таблица 2. Особенности проведения респираторной поддержки в группах сравнения.**

| Показатели                                                                                         | Значения показателей в группах |               |                               | p                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                    | Intellivent-ASV<br>(n=40)      | ASV<br>(n=40) | Врачебный<br>интерфейс (n=40) |                                                                     |
| Длительность респираторной поддержки в ОРИТ<br>(время до экстубации трахеи), мин                   | 226±31                         | 259±66        | 271±78                        | 0,0042<br>$p_{1-2}=0,0167$<br>$p_{1-3}=0,009$                       |
| Количество подходов клинициста к респиратору<br>на одного пациента                                 | 2(1–2)                         | 3 (2–4)       | 4 (3–5)                       | <0,0001<br>$p_{1-2}=0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}=0,0112$ |
| Количество ручных вносимых изменений<br>в настройки вентилятора на одного пациента                 | 0 (0–0)                        | 2 (2–3)       | 4 (3–5)                       | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}=0,0003$ |
| Время, потраченное врачом на респиратор<br>на одного пациента, сек                                 | 35 (27–45)                     | 99±35         | 164±69                        | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}=0,0045$ |
| <b>Во время искусственной вентиляции (с навязанными вдохами)</b>                                   |                                |               |                               |                                                                     |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , мм рт. ст.                                                    | 358 (330–380)                  | 373±64        | 372±50                        | 0,3038                                                              |
| SpO <sub>2</sub> , %                                                                               | 98 (97–99)                     | 100 (99–100)  | 99 (99–100)                   | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}=0,0001$                     |
| FiO <sub>2</sub> , %                                                                               | 26 (24–30)                     | 34 (30–35)    | 34 (30–38)                    | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$                     |
| PaO <sub>2</sub> , мм рт. ст.                                                                      | 95 (85–104)                    | 123 (109–133) | 125 (107–140)                 | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$                     |
| PaCO <sub>2</sub> , мм рт. ст.                                                                     | 42 (40–44)                     | 39(37–42)     | 38 (37–41)                    | 0,0002<br>$p_{1-2}=0,005$<br>$p_{1-3}=0,0003$                       |
| pH                                                                                                 | 7,39±0,04                      | 7,4±0,04      | 7,41±0,04                     | 0,0469                                                              |
| Дыхательный объем (Vt), мл/кг/PBW                                                                  | 6 (6–7)                        | 7 (6–7,7)     | 7 (7–8)                       | <0,0001<br>$p_{1-2}=0,0016$<br>$p_{1-3}=0,0001$                     |
| ΔP (движущее давление), см водн. ст.                                                               | 6 (6–7)                        | 6 (6–7)       | 7,3 (7–9)                     | <0,0001<br>$p_{1-3}=0,0001$<br>$p_{2-3}=0,0005$                     |
| PEEP, см. водн. ст.                                                                                | 5 (5–7)                        | 8 (7–10)      | 7 (6–9)                       | <0,0001<br>$p_{1-2}=0,0001$<br>$p_{1-3}=0,0004$                     |
| Механическая сила, J/мин                                                                           | 8 (6–9)                        | 8 (6–9)       | 9 (7–11)                      | 0,0797                                                              |
| Длительность периода вентиляции<br>с навязанными вдохами, мин                                      | 132±36                         | 169±68        | 189±71                        | 0,0002<br>$p_{1-2}=0,0012$<br>$p_{1-3}=0,0002$                      |
| <b>Без принудительных вдохов в группах Intellivent-ASV ASV и в режиме PSV в контрольной группе</b> |                                |               |                               |                                                                     |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> мм рт. ст.                                                      | 371±45                         | 364±62        | 385±49                        | 0,19                                                                |
| Прирост индекса PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> с момента поступления в ОРИТ, n                 | 34 (85%)                       | 29 (72,5%)    | 27 (67,5%)                    | 0,147                                                               |
| SpO <sub>2</sub> , %                                                                               | 98 (97–98)                     | 99 (99–100)   | 99 (98–100)                   | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}=0,0001$                     |
| FiO <sub>2</sub> , %                                                                               | 26±4                           | 31 (30–35)    | 30 (30–36)                    | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$                     |
| PaO <sub>2</sub> , mmHg                                                                            | 91 (84–104)                    | 115 (105–130) | 120 (109–137)                 | <0,0001<br>$p_{1-2}=0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$                     |
| PaCO <sub>2</sub> , mmHg                                                                           | 40±2                           | 38 (37–41)    | 38 (36–40)                    | 0,0553                                                              |
| pH                                                                                                 | 7,39±0,03                      | 7,4±0,04      | 7,4±0,03                      | 0,406                                                               |
| Дыхательный объем (Vt), мл/кг/PBW                                                                  | 8 (7–8)                        | 7,5 (7–8)     | 8 (7–9)                       | 0,0573                                                              |
| PS, см водн. ст.                                                                                   | 5 (5–5)                        | 5 (5–7)       | 8 (7–9)                       | <0,0001<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}<0,0001$                     |
| PEEP см водн. ст.                                                                                  | 5 (5–5)                        | 7 (5–8)       | 7 (5–8)                       | <0,0001<br>$p_{1-2}<0,0001$<br>$p_{1-3}<0,0001$                     |
| Продолжительность спонтанной вентиляции*, мин                                                      | 90 (75–103)                    | 80 (60–110)   | 60 (60–105)                   | 0,0462<br>$p_{1-3}=0,0162$                                          |

## Продолжение табл. 2.

| Показатели                                                                                                                              | Значения показателей в группах |               |                               | p                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                                                                         | Intellivent-ASV<br>(n=40)      | ASV<br>(n=40) | Врачебный<br>интерфейс (n=40) |                                                 |
| Время от пробуждения до перевода на спонтанные режимы, мин                                                                              | 0 (0–0)                        | 0 (0–12)      | 30 (0–60)                     | <0,0001<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}=0,0087$ |
| Время между восстановлением собственной дыхательной активности и изменением числа принудительных дыханий или спонтанной вентиляции, мин | 0                              | 0             | 39 (25–46)                    | <0,0001<br>$p_{1-3}<0,0001$<br>$p_{2-3}<0,0001$ |
| <b>После экстубации трахеи</b>                                                                                                          |                                |               |                               |                                                 |
| Рейнтубация трахеи                                                                                                                      | 0                              | 0             | 0                             |                                                 |
| В первые 12 часов после экстубации трахеи                                                                                               | 2                              | 1             | 1                             |                                                 |
| Длительность нахождения в ОРИТ, сутки                                                                                                   | 1 (1–1)                        | 1 (1–1)       | 1 (1–1)                       | —                                               |
| Длительность нахождения в клинике после оперативного вмешательства, сутки                                                               | 7 (7–8)                        | 8 (7–10)      | 8 (8–10)                      | 0,0411                                          |
| Внутригоспитальная летальность, n                                                                                                       | 0                              | 0             | 0                             |                                                 |

**Примечание.** \* — здесь в качестве продолжительности спонтанной вентиляции в группах Intellivent-ASV и ASV учитывается время, проведенное без принудительных вдохов, а в контрольной группе — время, проведенное на ИВЛ с поддержкой давлением.

тилятор-ассоциированной пневмонии [24]. Также следует отметить, что уровень поддержки давлением (PS) во время проведения вспомогательной вентиляции значимо ниже при применении интеллектуальных технологий.

В группе врачебного контроля от восстановления собственной дыхательной активности до снижения врачом числа аппаратных вдохов или перевода в режим PSV проходило в среднем 39 мин, а пробуждение пациента и восстановление дыхательной активности не всегда совпадало с переводом аппарата в более щадящие режимы, и этот период в среднем составил 30 мин. Возможно, именно с этим фактом связано то, что у больных из группы, где ИВЛ управляли врачи, чаще отмечали такие нежелательные явления, как беспокойство, что сопровождалось тахикардией, постукиваниями по кровати, развитием эпизодов тахипноэ и конкуренции с аппаратом. В группе Intellivent-ASV подобные эпизоды наблюдали у пяти пациентов из 40 (12,5%), в группе ASV — у 4 из 40 (10%), в то время как в контрольной группе — у 9 из 40 (22,5%), однако различия были статистически незначимыми.

Во время перевода на самостоятельное дыхание у части пациентов развивалось брадипноэ [Intellivent-ASV у 20 пациентов (50%); ASV — у 12 пациентов (30%); группа традиционных режимов у 15 пациентов (37,5%)], однако в группах применения интеллектуальных технологий автоматически включались принудительные вдохи, и механическая респираторная поддержка продолжалась вплоть до клинической возможности вновь минимизировать аппаратные дыхания, а в группе врачебного управления, при этом включалась резервная вентиляция с определенным количеством навязанных вдохов в режиме по давлению (полная ИВЛ), что влекло за собой необходимость коррекции режима вентиляции врачом и в некоторых случаях при-

водило к асинхрониям. Значимых различий между группами по данному эпизоду не обнаружили. Важно отметить, что в автоматизированных группах навязанные вдохи по возобновлению дыхательной активности пациента редуцировались автоматически, а в группе врачебного протокола это вновь требовало врачебного вмешательства.

Полученные при исследовании данные показали, что применение интеллектуальных режимов позволяет значительно снизить нагрузку на персонал, повысить безопасность послеоперационной вентиляции легких. В условиях ограниченных ресурсов использование данных технологий может явиться важным фактором для улучшения результатов лечения пациентов.

Результаты нашего исследования в целом сопоставимы с результатами исследований, проведенных у кардиохирургических пациентов: в группе Intellivent-ASV реже требовалось участие персонала в управлении работой аппарата и смена параметров вентиляции [13–15]. В группе ASV участие персонала требовалось чаще, нежели в группе полностью автоматического режима, однако и время, проведенное у респиратора и частота коррекции настроек все равно оказалась значимо ниже, нежели в группе полностью врачебного управления.

В отличие от наших результатов, в работе А. J. Beijers и Е. Fot [13, 15] длительность аппаратной поддержки в группах сравнения не отличалась, что можно объяснить разницей в локальных протоколах проведения ИВЛ. При этом в случае использования полуавтоматической технологии мы отметили, что время респираторной поддержки в группе ASV практически не отличалось от данных, полученных зарубежными исследователями, в то время как длительность вентиляции в группе традиционных режимов, выполненных за рубежом, была выше,

**Таблица 3. Основные показатели респираторного мониторинга после экстубации трахеи.**

| Время после экстубации трахеи | Показатель                         | Значения показателей в группах |               |                               | p      |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|--------|
|                               |                                    | Intellivent-ASV<br>(n=40)      | ASV<br>(n=40) | Врачебный<br>интерфейс (n=40) |        |
| 30 мин                        | SpO <sub>2</sub>                   | 94 (93–95)                     | 94±2          | 94±2                          | 0,1614 |
|                               | PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> | 335 (321–345)                  | 317 (300–352) | 337 (302–365)                 | 0,3071 |
|                               | PaCO <sub>2</sub>                  | 39 (38–41)                     | 39 (36–41)    | 38 (37–41)                    | 0,3400 |
| 12 час                        | SpO <sub>2</sub>                   | 95 (94–96)                     | 95 (93–95)    | 94,5 (93–96)                  | 0,0489 |
|                               | PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> | 347 (335–361)                  | 338 (302–397) | 332 (300–369)                 | 0,2725 |
|                               | PaCO <sub>2</sub>                  | 39±2                           | 39 (38–41)    | 39 (38–41)                    | 0,7742 |

что опять-таки можно объяснить разницей локальных протоколов [16–20].

Практически по всем параметрам, по которым оценивали безопасность проводимой респираторной поддержки [величина дыхательного объема, driving pressure — ( $\Delta P$ ), FiO<sub>2</sub>, уровень ПДКВ], мы получили статистически значимые отличия между группами (табл. 2). Величина дыхательного объема была ниже при проведении принудительной вентиляции во время использования Intellivent-ASV, а во время вспомогательной вентиляции величины дыхательного объема были равнозначны во всех трех группах сравнения при более низкой величине PS в «интеллектуальных» группах, и, что очень важно отметить, в этих группах ниже был уровень driving pressure во время периода вентиляции с навязанными вдохами.

Уровень используемого FiO<sub>2</sub> и PEEP во все фазы респираторной поддержки был ниже в группе применения Intellivent-ASV. Мы считаем важным достижением возможность работы при более низких значениях FiO<sub>2</sub>, поскольку предотвращение гипероксии является одной из целей протективной вентиляции, а негативные стороны гипероксии (увеличение количества абсорбционных ателектазов, легочного повреждения) хорошо показаны в работах S. R. Pannu, R. Panvar [25, 26]. Значимых различий по величине mechanical power не получили.

Во время проведения респираторной поддержки отметили, что величина PaO<sub>2</sub> и показатель SpO<sub>2</sub> были значимо ниже в группе Intellivent-ASV, но они были абсолютно физиологичны и не было значимых различий по индексу Горовица во всех группах: ни во время вентиляции (табл. 2), ни после перевода на самостоятельное дыхание, ни через 12 часов после экстубации трахеи (табл. 3). Несмотря на полученные различия по величинам PaCO<sub>2</sub>, во всех группах показатели оставались в пределах физиологических значений (табл. 2 и 3).

Интеллектуальные режимы относятся к автономным роботическим и полуроботическим технологиям, функционирующим в полностью замкнутом цикле, когда на основе данных пульсоксиметрии, капнографии и механики дыхания респиратор автоматически подбирает оптимальные параметры вентиляции для достижения це-

левых показателей газообмена, по мере стабилизации состояния пациента осуществляет перевод от полной искусственной вентиляции легких через вспомогательные режимы к самостоятельному дыханию без участия медицинского персонала, который выполняет функции наблюдения и контроля, а в случае полуроботической технологии респиратор выбирает наиболее подходящий и безопасный паттерн респираторной поддержки для каждого конкретного больного, что позволяет значительно проще персонализировать проводимую респираторную поддержку без неустанный контроля клинициста.

Положительной стороной использования интеллектуальных режимов является возможность лучшего освоения современных принципов протективной вентиляции легких и последующего применения полученных навыков на практике. Отметим, что после начала применения интеллектуальных технологий нашими коллегами значительно чаще в рутинной практике устанавливаются более низкие значения давлений в фазы вдоха и выдоха, меньшие величины дыхательного объема и FiO<sub>2</sub>, активнее и раньше осуществляется перевод на спонтанные режимы пациентов, находящихся на «традиционных» режимах вентиляции.

Ограничениями исследования можно считать «человеческий фактор», как было показано выше, в исследовании участвовало 8 врачей, каждый из которых имеет собственный опыт и устоявшиеся алгоритмы при проведении вентиляции легких. Кроме того, число подходов врача к аппарату и время, потраченное на изменение режимов вентиляции, могло зависеть от личностных характеристик и его базовой подготовки по проведению вентиляции легких.

## Заключение

Сравнение интеллектуальных технологий респираторной поддержки с традиционным протоколом аппаратной вентиляции в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов показало, что их применение дает возможность интерактивно персонализировать и корректировать проводимую респираторную поддержку, значительно снижая врачебное участие в этом процессе и обеспечивая наиболее безопасные параметры вентиляции.

## Литература

1. Gregory A.J., Engelman D.T., Williams J.B. Cardiac Surgery ERAS p 488. In book O. Ljungqvist, N.K. Francis, R. D. Urman Enhanced recovery after surgery: a complete guide to optimizing outcomes. Cham; Springer Nature Switzerland AG; 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33443-7 ISBN 978-3-030-33442-0.
2. Dabbagh A., Esmailian F., Aranki S. Postoperative critical care for adult cardiac surgical patients. Second edition, Cham; Springer International Publishing AG, part of Springer Nature; 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-75747-6 ISBN 978-3-319-75746-9.
3. Chatburn R.L., Mireles-Cabodevila E. Closed-loop control of mechanical ventilation: description and classification of targeting schemes. *Respiratory Care*. 2011; 56 (1): 85–102. DOI: 10.4187/respcare.00967. PMID: 21235841.
4. Serpa Neto A., Simonis E.D., Schultz M.J. How to ventilate patients without acute respiratory distress syndrome? *Curr Opin Crit Care*. 2015; 21: 65–73. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000165. PMID: 25501019.
5. Кассиль В.Л. Интеллектуальные методы ИВЛ и ВВЛ. В книге В.Л. Кассиль, А.А. Еременко, Ю.Ю. Сапичева, М. А. Выжигина: Принципы механической вентиляции легких в интенсивной терапии. М.: МЕДпресс-информ; 2017: 225–228. ISBN 978-5-00030-507-2.
6. Otis A.B., Fenn W.O., Rahn H. Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol*. 1950; 2: 592–607. DOI: 10.1152/jappl.1950.2.11.592. PMID: 15436363.
7. Mead J., Turner J.M., Macklem P.T., Little J.B. Significance of the relationship between lung recoil and maximum expiratory flow. *J Appl Physiol*. 1960; 22 (1): 95–108. DOI: 10.1152/jappl.1967.22.1.95. PMID: 6017658.
8. Belliato M. Automated weaning from mechanical ventilation. *World J Respirol*. 2016; 6 (2): 49–53. DOI: 10.5320/wjr.v6.i2.49.
9. Arnal J.-M., Garnero A., Novontni D., Demory D., Ducros L., Berric A., Donati S.Y., Corno G., Jaber S., Durand-Gasselin J. Feasibility study on full closed-loop control ventilation (Intellivent-ASV) in ICU patients with acute respiratory failure: a prospective observational comparative study. *Critical Care*. 2013; 17: R196. PMID: 24025234. DOI: 10.1186/cc12890.
10. Arnal J.-M., Garnero A., Novotni D., Corno G., Donati S.Y., Demory D., Quintana G., Ducros L., Laubscher T., Durand-Gasselin J. Closed loop ventilation mode in Intensive Care Unit: a randomized controlled clinical trial comparing the numbers of manual ventilator setting changes. *Minerva Anestesiologica*. 2018; 84 (1): 58–67. DOI: 10.23736/S0375-9393.17.11963-2. PMID: 28679200.
11. Arnal J.-M., Saoli M., Aude Garnero A. Airway and transpulmonary driving pressures and mechanical powers selected by Intellivent-ASV in passive, mechanically ventilated ICU patients. *Heart Lung*. 2020; 49 (4): 427–434. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2019.11.001. PMID: 31733881.
12. Bialais E., Wittebole X., Vignaux L., Roeseler J., Wysocki M., Meyer J., Reyckler G., Novotni D., Sottiaux T., Laterre P.F., Hantson P. Closed-loop ventilation mode (IntelliVent®-ASV) in intensive care unit: a randomized trial. *Minerva Anestesiologica*. 2016; 82: 657–668. PMID 26957117.
13. Beijers A.J., Roos A.N., Bindels A.J. Fully automated closed-loop ventilation is safe and effective in post-cardiac surgery patients. *Intensive Care Med*. 2014; 40 (5): 752–753. DOI: 10.1007/s00134-014-3234-7. PMID 24577110.
14. Lellouche E., Bouchard P.A., Simard S., L'Her E., Wysocki M. Evaluation of fully automated ventilation: a randomized controlled study in post-cardiac surgery patients. *Intensive Care Medicine*. 2013; 3: 463–471. DOI: 10.1007/s00134-012-2799-2. PMID: 23338569.
15. Fot E.V., Izotova N.N., Yudina A.S., Smetkin A.A., Kuzkov V.V., Kirov M.Y. Automated weaning from mechanical ventilation after off-pump coronary artery bypass grafting. *Front Med (Lausanne)*. 2017; 4: 31. DOI: 10.3389/fmed.2017.00031. PMID 28377920.
16. Gruber P.C., Gomersall C.D., Leung P., Joynt G.M., Ng S.K., Ho K.M., Underwood M.J. Randomized controlled trial comparing adaptive support ventilation with pressure-regulated volume-controlled ventilation with automode in weaning patients after cardiac surgery. *Anesthesiology*. 2008; 109 (1): 81–87. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31817881fc. PMID: 18580176.
17. Zhu F., Gomersall C.D., Ng S.K., Underwood M.J., Lee A. A randomized controlled trial of adaptive support ventilation mode to wean patients after fast-track cardiac valvular surgery. *Anesthesiology*. 2015; 122 (4): 832–840. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000589. PMID: 25569810.
18. Yazdannik A., Zarei H., Massoumi G. Comparing the effects of adaptive support ventilation and synchronized intermittent mandatory ventilation on intubation duration and hospital stay after coronary artery bypass graft surgery. *Iran Journal of Nursing and Midwifery Research*. 2016; 21 (2): 207–212. DOI: 10.4103/1735-9066.178250. PMID: 27095997.
19. Tam M.K.P., Wong W.T., Gomersall C.D., Tian Q., Ng S.K., Leung C.C.H., Underwood M.J. A randomized controlled trial of 2 protocols for weaning cardiac surgical patients receiving adaptive support ventilation. *J Crit Care*. 2016; 33: 163–168. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.01.018. PMID: 27006266.
20. Еременко А.А., Комнов Р.Д. Интеллектуальный режим аппаратной вентиляции легких при ранней активизации кардиохирургических пациентов. *Общая реаниматология*. 2020; 16 (1): 4–15. DOI: 10.15360/1813-9779-2020-1-4-15.
21. MacIntyre N.R., Cook D.J., Ely E.W.Jr., Epstein S.K., Fink J.B., Heffner J.E., Hess D., Hubmayer R.D., Scheinhorn D.J. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective Task Force facilitated by the American College of Chest Physicians, the American Association for Respiratory Care, and the American College of Critical Care Medicine. *Chest*. 2001; 120 (6): 375S–95S. DOI: 10.1378/chest.120.6\_suppl.375S. PMID: 11742959.
22. Silva P.L., Macedo Rocco P.R., Pelosi P. Ten reasons to use mechanical power to guide ventilator settings in patients without ARDS. In book: Annual update in intensive care and emergency medicine 2020 Cham. Springer Nature Switzerland AG; 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-37323-8\_3. ISBN 978-3-030-73230-1.
23. Becher T., van der Staay M., Schädler D., Frerichs I., Weiler N. Calculation of mechanical power for pressure-controlled ventilation. *Intensive Care Med*. 2019; 45 (9): 1321–1323. DOI: 10.1007/s00134-019-05636-8. PMID: 31101961.
24. Putensen C., Muders T., Varelmann D., Wrigge H. The impact of spontaneous breathing during mechanical ventilation. *Current Opinion in Critical Care*. Lippincott Williams and Wilkins; 2006; 12 (1): 13–18. DOI: 10.1097/01.ccx.0000198994.37319.60. PMID: 16394778.
25. Pannu S.R., Dziadzko M.A., Gajic O. How much oxygen? Oxygen titration goals during mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2016; 193: 4–5. DOI: 10.1164/rccm.201509-1810ED. PMID: 26720783.
26. Panwar R., Hardie M., Bellomo R., Barrot L., Eastwood G.M., Young P.J., Capellier G., Harrigan P.W., Bailey M. Conservative versus liberal oxygenation targets for mechanically ventilated patients. A pilot multicenter randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2016; 193: 43–51. DOI: 10.1164/rccm.201505-1019OC. PMID: 26334785.

Поступила 21.10.2021  
Принята 24.03.2022