https://medbiosci.ru ISSN 3034-6231, eISSN 3034-6258

# ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ
# INTERNAL DISEASES

https://doi.org/10.15507/3034-6231.001.202503.298-306

EDN: https://elibrary.ru/kzfabz

УДК 612.216.2:616-082

*Обзорная статья / Review*

## Перспективы развития интеллектуальных режимов искусственной вентиляции легких

**И. В. Сопенко[1]✉, А. А. Котляров[1], С. Г. Климанов[2], Д. С. Смирнов[2]**

*[1]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск, Российская Федерация*

*[2]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Российская Федерация*

✉ *sopenko2011@mail.ru*

*Аннотация*

***Введение.*** В современных условиях респираторная поддержка с применением аппаратов искусственной вентиляции легких является не только ведущим методом интенсивной терапии при выраженных расстройствах дыхания различного происхождения, но и методом паллиативной терапии для пациентов с тяжелой хронической дыхательной недостаточностью. Поэтому осуществляется постоянный поиск новых режимов искусственной вентиляции легких, способных обеспечить максимально физиологичную и безопасную респираторную терапию пациентов с различными вариантами нарушения функции дыхания. *Цель данного обзора* – оценка имеющихся в медицинской практике интеллектуальных режимов аппаратов искусственной вентиляции легких.

***Материалы и методы.*** Проведен поиск научных публикаций в доступных научных электронных базах данных: PubMed, Google Scholar, eLibrary. Подбор статей осуществляли по ключевым словам. Для сравнительного анализа представленных в медицине интеллектуальных режимов искусственной вентиляции легких, их преимуществ и недостатков перед другими существующими режимами в обзор включены данные тематических руководств для врачей и учебных изданий.

***Результаты исследования.*** В настоящее время наблюдается активное расширение спектра применяемых аппаратов искусственной вентиляции легких. При этом имеется тенденция производства аппаратов с одинаковой функциональностью под разными коммерческими названиями, что нужно

© Сопенко И. В., Котляров А. А., Климанов С. Г., Смирнов Д. С., 2025

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

учитывать в практической деятельности специалистов. С другой стороны, нарастание сложности методик режимов искусственной вентиляции легких способствует перегрузке персонала отделений реанимации и интенсивной терапии.

***Обсуждение и заключение.*** Несмотря на расширение спектра применяемых аппаратов искусственной вентиляции легких, использующих различные вспомогательные режимы респираторной поддержки, в настоящее время сохраняется необходимость разработки полностью автоматизированной системы управления аппаратами искусственной вентиляции легких, способной обеспечить максимальную адаптацию режима вентиляции под изменяющиеся параметры дыхательной функции легких пациентов. Система должна уметь самостоятельно подбирать оптимальные режимы и параметры искусственной вентиляции легких, а также при взаимодействии с пользователем предлагать ему на выбор те или иные варианты коррекции.

***Ключевые слова*:** искусственная вентиляция легких, интеллектуальная система искусственной вентиляции легких, положительное давление конца вдоха, параметры вентиляции легких

***Финансирование*:** исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-21-20143, https://rscf.ru/project/25-21-20143/

***Конфликт интересов*:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Сопенко И.В., Котляров А.А., Климанов С.Г., Смирнов Д.С. Перспективы развития интеллектуальных режимов искусственной вентиляции легких. *Медицина и биотехнологии.* 2025;1(3):298–306. https://doi.org/10.15507/3034-6231.001.202503.298-306

# Prospects for the Development of Intelligent Mechanical Ventilation Modes

**I. V. Sopenko [a]✉, A. A. Kotlyarov [a], S. G. Klimanov [b], D. S. Smirnov [b]**

[a] National Research Nuclear University MEPhI, Obninsk, Russian Federation
[b] National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation
✉ *sopenko2011@mail.ru*

*Abstract*

***Introduction.*** In modern clinical practice, mechanical ventilation is not only a primary method of intensive care for severe respiratory disorders of various origins but also a method of palliative therapy for patients with severe chronic respiratory failure. Consequently, there is a continuous pursuit of new ventilation modes capable of providing the most physiological and safe respiratory support for patients with various types of respiratory dysfunction. *The aim of this review* is to evaluate the intelligent modes of mechanical ventilation available in medical practice.

***Materials and methods.*** A literature search was conducted in the following electronic scientific databases: PubMed, Google Scholar, and eLibrary. Article selection was performed using relevant keywords. To enable a comparative analysis of the intelligent mechanical ventilation modes presented in the medical literature, including their advantages and disadvantages over other existing modes, the review also incorporated data from relevant clinical practice guidelines and medical textbooks.

***Results.*** Currently, there is a notable expansion in the range of mechanical ventilators being employed in clinical practice. This trend is accompanied by a proliferation of devices offering similar functionality under different commercial names, a factor that healthcare professionals must account for in their practical work. Conversely, the growing complexity of mechanical ventilation modes and techniques contributes to an increased workload and potential cognitive overload for intensive care unit staff.

***Discussion and conclusion.*** Despite the expanding range of mechanical ventilators employing various assisted modes of respiratory support, the need persists for the development of a fully automated mechanical ventilation control system. Such a system must be capable of providing maximum adaptation of the ventilation mode to the changing parameters of a patient's respiratory function. It must be able to both autonomously select optimal modes and parameters for mechanical ventilation and, when interacting with the user, present a selection of potential corrective adjustments.

***Keywords*:** artificial ventilation of the lungs, intelligent artificial ventilation system, positive end-inspiratory pressure, lung ventilation parameters

***Funding*:** the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-21-20143, https://rscf.ru/project/25-21-20143/

***Conflict of interest*:** the authors declare no conflict of interest.

***For citation*:** Sopenko I.V., Kotlyarov A.A., Klimanov S.G., Smirnov D.S. Prospects for the Development of Intelligent Mechanical Ventilation Modes. *Meditsina i Biotekhnologii = Medicine and Biotechnology.* 2025;1(3):298–306. https://doi.org/10.15507/3034-6231.001.202503.298-306

## ВВЕДЕНИЕ

Новые достижения в области медицины позволяют спасать жизни людей, находящихся в крайне тяжелом состоянии, путем внедрения в медицинскую практику высокоэффективных методов интенсивной терапии. Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) по праву считается одним из важнейших методов интенсивной терапии, входящим в комплекс мер по поддержанию жизненно важных функций организма в критических состояниях. Являясь спасающим жизнь методом, улучшая состояние газообмена и механики дыхания, ограничивая чрезмерную нагрузку на систему дыхания и кровообращения, искусственная вентиляция легких оправдывает термин «искусственная», однако может сопровождаться различными побочными эффектами[1].

Неадекватная ИВЛ повышает риск повреждения альвеол вследствие высокого

[1] Кассиль В.Л., Выжигина М.А., Лескин Г.С. Искусственная и вспомогательная вентиляция легких: руководство для врачей. М.: Медицина; 2004. С. 26–43. URL: https://crb-asa.kz/wp-content/uploads/2021/04/ИВЛ%202004г.pdf (дата обращения: 05.08.2025).

давления и перерастяжения, токсического действия кислорода; может приводить к развитию ателектазов, пневмомедиастинума, пнемоперикарда и пневмоторакса. При проведении ИВЛ возможны осложнения в виде снижения венозного возврата, снижения сердечного выброса, повышения легочного сосудистого сопротивления, а также инфекционные осложнения[2].

При проведении аппаратной ИВЛ необходимо учитывать дыхательный объем, частоту дыхательных циклов, скорость подаваемого потока газа, концентрацию кислорода в газовой смеси, и производные от них, давление в дыхательных путях на вдохе и выдохе. Важной задачей длительной ИВЛ является постоянное поддержание оптимальных режимов вентиляции, несмотря на прогрессирование патологического процесса в легких, либо при присоединении других заболеваний[3].

Необходимость непрерывного поддержания оптимальных режимов в меняющихся клинических условиях требует своевременных, а желательно, превентивных действий со стороны врачей анестезиологов-реаниматологов и среднего медицинского персонала отделений и блоков интенсивной терапии и реанимации. К сожалению, не всегда удается адекватно и своевременно оптимизировать режим работы аппарата ИВЛ, а каждый эпизод гипоксии может стать причиной необратимых изменений в органах-мишенях (головной мозг, сердце, почки). Поэтому крайне важно обеспечить технические условия, позволяющие максимально разгрузить медицинский персонал с целью повышения эффективности и безопасности проведения ИВЛ [1; 2].

На наш взгляд, принципиально необходимым мероприятием является разработка, внедрение и широкое распространение в клинической практике интеллектуальных режимов ИВЛ. Главной особенностью автоматизированных систем управления ИВЛ должно являться непрерывное интерактивное взаимодействие в системе респиратор – больной, с возможностью автоматического анализа респираторных показателей пациента и своевременной регулировкой непосредственно аппаратом ИВЛ необходимых в данное время параметров вентиляции для достижения конкретно заданной цели (например, заданного дыхательного или минутного объема дыхания) [1; 3].

*Цель исследования* – на основе представленных в медицинской практике интеллектуальных режимах ИВЛ оценить перспективы развития аппаратной вентиляции легких, обеспечивающей улучшение прогноза пациентов, в том числе за счет снижения риска врачебных ошибок.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Коллективом авторов был проведен поиск и анализ научных публикаций в доступных электронных базах: PubMed, Google Scholar, eLibrary. Подбор статей осуществлялся по ключевым словам «искусственная вентиляция легких», «интеллектуальная система искусственной вентиляции легких», «положительное давление конца вдоха», «параметры вентиляции легких». Для сравнительного анализа представленных в медицине интеллектуальных режимов ИВЛ, их преимуществ и недостатков перед другими режимами в обзор были включены данные тематических руководств для врачей и учебных изданий, имеющих фундаментальное значение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая опыт последних десятилетий, можно выделить несколько стимулов к развитию и совершенствованию методов респираторной поддержки пациентов с применением аппаратов ИВЛ:

1. Увеличение количества пациентов с хронической дыхательной недостаточностью, нуждающихся в длительной, порой «домашней» ИВЛ.

[2] Проценко Д.Н. Тактика респираторной поддержки у пациентов в критическом состоянии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2021. С. 213. URL: https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Disser/2021/Procenko_DN/a_Procenko_DN.pdf (дата обращения: 05.08.2025).

[3] Литвицкий П.Ф. Патофизиология: учебник: в 2 т. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2016. 624 с. URL: https://clck.ru/3PDrdx (дата обращения: 05.08.2025).

2. Появление существенных рисков возникновения ситуаций значительного увеличения количества пациентов с острой дыхательной недостаточностью (ОДН).

3. Повышение числа пациентов, которым требуется своевременное и адекватное отлучение от аппарата ИВЛ.

Современные аппараты ИВЛ оснащены интеллектуальными системами управления, способными в разной мере регулировать ключевые параметры респираторной поддержки и подбирать оптимальные режимы вентиляции легких.

К ним относятся режимы, способные обеспечить[4]:

1. Поддержание заданных объемов (дыхательного или минутного) – режимы MMV, VAPS, PLV и VS.

2. Реагирование на особенности спонтанного (самостоятельного) дыхания пациента (PAV, NAVA, ATC) или обеспечение заданного объема минутной вентиляции с учетом параметров дыхания пациента (ASV).

3. Обеспечение оптимальных параметров респираторной поддержки на основе расширенных данных о состоянии пациента в реальном времени (IntelliVent-ASV®) [4; 5].

Рассмотрим данные режимы более подробно.

*Mandatory Minute Ventilation (MMV)* – режим заданной минутной вентиляции. Аппарат ИВЛ поддерживает установленный минутный объем дыхания (МОД) при спонтанном дыхании пациента, но существует риск неадекватного увеличения частоты дыхания и избыточной вентиляции дыхательного мертвого пространства[5].

*Volume Assured Pressure Support (VAPS)* и *Pressure Limited Ventilation (PLV).* Режимы двойного управления позволяют скорректировать настройки режима ИВЛ в течение одного вдоха и обеспечить заданный дыхательный объем, не превышая порога давления, при изменениях комплайнса и/или резистанса [5].

При настройке режима VAPS устанавливаются: давление поддержки (support pressure), целевой дыхательный объем (target tidal volume), граница тревог по давлению (позволяет аварийно переключаться на выдох), уровень потока поддержки, при котором аппарат переключается на выдох или обеспечивает управление вдохом по объему. При работе в этом режиме аппарат может либо подать недостаточный объем, либо превысить его пороговую величину[6].

Режим PLV позволяет при снижении комплайнса и/или повышении резистанса уменьшать поток и одновременно увеличивать потоковое время вдоха, то есть, не превышая пороговый уровень давления, аппарат обеспечивает заданный дыхательный объем[7].

*Volume Support (VS).* Аппарат ИВЛ подбирает уровень давления поддержки с учетом заданного дыхательного объема. Попытки спонтанного дыхания снижают давление поддержки при уменьшении попыток вдоха пациентом, аппарат повышает уровень поддержки либо при увеличении резистанса, либо при снижении комплайнса. Если у пациента меняется глубина и ритм дыхания, например, при развитии болевого синдрома, в режиме управления потребуется участие врача [4; 5].

*Proportional Assist Ventilation (PAV).* Режим, при котором вдох инициируется пациентом, а переключение на выдох осуществляется по потоку. На протяжении каждого вдоха вентилятор учитывает усилие пациента и создает соответствующее давление поддержки [5]. За счет этого минимизируется несоответствие дыхания пациента и работы респиратора. Недостатки: в случае чрезмерной поддержки потоком существует риск подавления функциональной активности дыхательного центра и развитие волюмотравмы [6].

*Нейро-регулируемая вспомогательная вентиляция легких (NAVA).* Идея заключается в фиксации электрической активности

[4] Горячев А.С., Савин И.А. Основы ИВЛ: моногр. М.: Медиздат; 2019. https://elibrary.ru/qlvlmd

[5] Там же.

[6] Царенко С.В. Практический курс ИВЛ: руководство для врачей. М.: Медицина; 2007. https://elibrary.ru/qlolod

[7] Полупан А.А., Горячев А.С., Савин И.А. Асинхронии и графика ИВЛ. М.: Аксиом Графикс Юнион; 2018. 367 с. URL: http://nsicu.ru/book/AsinhronIVL (дата обращения: 06.08.2025).

диафрагмы (Edi) [6]. Регистрация Edi-сигнала позволяет синхронизировать усилие пациента сделать вдох и уровень вентиляционный помощи [7]. Таким образом, давление поддержки аппарата пропорционально электрической активности диафрагмы, что создает необходимую вентиляционную поддержку и предотвращает баротравму.

Анализ рандомизированных контролируемых и перекрестных исследований 2007–2020 гг. (Yuan X. и соавт.), в которых сравнивались NAVA и другие режимы ИВЛ, позволил сделать вывод, что данный режим по сравнению с другими режимами частичной поддержки улучшает показатели успешного отлучения пациентов от респиратора [8].

Режим NAVA увеличивает синхронность взаимодействия аппарата ИВЛ и больного, сокращая продолжительность ИВЛ [9].

*Automated Tube Compensation (ATS).* Режим разработан с целью компенсации сопротивления интубационной или трахеостомической трубки потоку кислородно-воздушной смеси. Аппарат ИВЛ компенсирует сопротивление потоку дыхательной смеси на вдохе и на выдохе [9]. К недостаткам режима следует отнести риск закрытия воздухоносных путей у больных с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) в момент выдоха, а также ошибки при расчете давления в трахее в случае неполной закупорки секретом интубационной / трахеостомической трубки [5].

*Adaptive Support Ventilation (ASV).* Режим адаптивной поддерживающей вентиляции устанавливает оптимальное соотношение количества принудительных и спонтанных вдохов в зависимости от дыхательной активности пациента [7]. Режим позволяет вентилятору доставить заданный объема минутной вентиляции и обеспечить наиболее физиологичные параметры дыхательного объема и частоты дыхания. Предотвращается применение больших дыхательных объемов, травмирующих легочную ткань, и малых объемов, вентилирующих преимущественно мертвое пространство [10].

В режиме ASV аппарат изменяет давление поддержки в зависимости от объема произведенного вдоха и подбирает частоту дыхания, обеспечивающую освобождение легких за время выдоха для следующего вдоха [11].

Однако при использовании режима ASV может потребоваться ручное управление вентиляцией легких, так как расчетные показатели мертвого пространства могут не соответствовать таковым в условиях патологического процесса [9].

В 2011 г. впервые был анонсирован *режим IntelliVent-ASV (iASV).* Основываясь на данных физиологических сигналов и активности пациента, аппарат способен автоматически регулировать параметры вентиляции [11]. Предполагается решение 3 основных задач ИВЛ: 1) обеспечение целевого минутного объема дыхания (МОД); 2) поддержание целевой концентрации углекислого газа ($ETCO_2$); и 3) поддержание целевого уровня насыщения крови кислородом ($SpO_2$) [4; 6].

Оператор устанавливает целевой МОД по антропометрическим показателям пациента, давление поддержки вдоха по принципу минимального необходимого. Далее аппарат в режиме iASV вносит поправки в настройки в зависимости от показателей пульсоксиметра и капнометра [10; 11]. Минутная вентиляция легких (МВЛ) корректируется по показателям капнометра; если уровень $ETCO_2$ высокий, аппарат повышает давление вдоха, увеличивая МВЛ, при уровне $ETCO_2$ ниже целевых значений аппарат снижает давление вдоха, что замедляет удаление $CO_2$ из организма [7].

Программа выбирает оптимальное соотношение $FiO_2$ и положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) для поддержания целевой сатурации $O_2$. Для увеличения $SpO_2$ сначала повышается $FiO_2$, а затем ПДКВ. Наоборот, при высоком уровне $SpO_2$ программа снижает $FiO_2$, а следом – ПДКВ [7; 10].

В программе предустановлены 4 клинических сценария: вентиляция нормальных легких, вентиляция при остром респираторном дистресс-синдроме (ОРДС),

вентиляция при хронической гиперкапнии и вентиляция при повреждении мозга. При необходимости врач может вносить изменения в параметры вентиляции [10; 11].

Вентиляция в режиме iASV позволяет сократить долю ручного управления аппаратом ИВЛ, соответственно, уменьшает нагрузку на персонал отделения реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), по сравнению с обычными режимами вентиляции [11].

Имеются данные, что режим iASV оптимизировал вентиляцию легких, уменьшил количество случаев тяжелой гипоксемии и позволил ускорить восстановление спонтанного дыхания после операции на сердце [12].

У пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ) вентиляция в режиме iASV эффективнее поддерживает $PaCO_2$ в заданном диапазоне и существенно снижает необходимость в ручных настройках параметров вентиляции в сравнении со стандартным режимом ИВЛ [13].

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на расширение спектра применяемых аппаратов ИВЛ, использующих различные вспомогательные режимы респираторной поддержки, в настоящее время сохраняется необходимость разработки полностью автоматизированной системы управления аппаратами ИВЛ, способной обеспечить максимальную адаптацию режима вентиляции под изменяющиеся параметры дыхательной функции легких пациентов.

Система должна уметь самостоятельно подбирать оптимальные режимы и параметры ИВЛ, а также при взаимодействии с пользователем предлагать ему на выбор те или иные варианты коррекции. Подобный подход к решению проблемы управления режимами и параметрами ИВЛ в значительной степени повысит безопасность проведения ИВЛ. По мере накопления опыта работы с модулем оператор будет доверять ему разрешение все более сложных клинических ситуаций, в то же время оставляя за собой самые опасные и трудно интерпретируемые моменты. Программа, в свою очередь, в процессе взаимодействия с оператором будет накапливать алгоритмы и инструменты решения задачи по нормализации / оптимизации вентиляции пациентов с различными вариантами нарушения функции дыхательной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Ларин Е.С., Колышкин В.В. Искусственная вентиляция легких – вчера, сегодня, завтра. *Pallium: паллиативная и хосписная помощь.* 2019;1(2):46–49. https://elibrary.ru/njvamq
2. De Prost N., Dreyfuss D. How to Prevent Ventilator-induced Lung Injury? *Minerva Anestesiologica.* 2012;78(9):1054–1066. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22772855/ (дата обращения: 05.08.2025).
3. Светлицкая О.И., Канус И.И. Пути решения проблемы отлучения от искусственной вентиляции легких. *Международные обзоры: клиническая практика и здоровье.* 2020;1:22–34. https://elibrary.ru/pgiyju
4. Botta M., Wenstedt E.F.E., Tsonas A.M., Buiteman-Kruizinga L.A., van Meenen D.M.P., Korsten H.H.M. et al. Effectiveness, Safety and Efficacy of INTELLiVENT-adaptive Support Ventilation, a Closed-loop Ventilation Mode for Use in ICU Patients – A Systematic Review. *Expert Reviews of Respiratory Medicine.* 2021;15(11):1403–1413. https://doi.org/10.1080/17476348.2021.1933450
5. Singh P.M., Borle A., Trikha A. Newer Nonconventional Modes of Mechanical Ventilation. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock.* 2014;7(3):222–227. https://doi.org/10.4103/0974-2700.136869
6. Мазурок В.А. Пропорциональная вспомогательная вентиляция. *Трансляционная медицина.* 2020;7(1):39–52. https://doi.org/10.18705/2311-4495-2020-7-1-39-52
7. Narchi H., Chedid F. Neurally Adjusted Ventilator Assist in Very Low Birth Weight Infants: Current Status. *World Journal of Methodology.* 2015;5(2):62–67. https://doi.org/10.5662/wjm.v5.i2.62
8. Yuan X., Lu X., Chao Y., Beck J., Sinderby C., Xie J. et al. Neurally Adjusted Ventilatory Assist as a Weaning Mode for Adults with Invasive Mechanical Ventilation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Critical Care.* 2021;25(1):222. https://doi.org/10.1186/s13054-021-03644-z
9. Umbrello M., Antonucci E., Muttini S. Neurally Adjusted Ventilatory Assist in Acute Respiratory Failure – A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine.* 2022;11(7):1863. https://doi.org/10.3390/jcm11071863

10. Еременко А.А., Комнов Р.Д., Титов П.А., Герасименко С.А., Чакал Д.А. Сравнение интеллектуального режима Intellivent-ASV® с традиционным подходом к прекращению ИВЛ у пациентов после неосложненных кардиохирургических операций. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2021;18(3):36–45. https://doi.org/10.21292/2078-5658-2021-18-3-36-45
11. Arnal J.M., Garnero A., Novotni D., Corno G., Donati S.Y., Demory D. et al. 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. https://doi.org/10.23736/S0375-9393.17.11963-2
12. De Bie A.J.R., Neto A.S., van Meenen D.M., Bouwman A.R., Roos A.N., Lameijer J.R. et al. Fully Automated Postoperative Ventilation in Cardiac Surgery Patients: A Randomised Clinical Trial. *British Journal of Anaesthesia.* 2020;125(5):739–749. https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.06.037
13. Ананьев Е.П., Полупан А.А., Мацковский И.В., Ошоров А.В., Горячев А.С., Савин И.А. и др. Использование режима IntelliVent-ASV для поддержания целевого диапазона $EtCO_2$ у пациентов с тяжелой ЧМТ. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н. Н. Бурденко.* 2017;81(5):63–68. https://doi.org/10.17116/neiro201781563-68

## REFERENSES

1. Larin E.S., Kolyshklin V.V. Artificial Ventilation of the Lungs – Yesterday, Today, Tomorrow. *Pallium: Palliative and Hospice Care.* 2019;1(2):46–49. (In Russ., abstract in Eng.). https://elibrary.ru/njvamq
2. De Prost N., Dreyfuss D. How to Prevent Ventilator-induced Lung Injury? *Minerva Anestesiologica.* 2012;78(9):1054–1066. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22772855/ (accessed: 05.08.2025).
3. Sviatlitskaya V.I., Kanus I.I. Weaning from Mechanical Ventilation: the Lines of Approach. *International Reviews: Clinical Practice and Health.* 2020;1:22–34. (In Russ., abstract in Eng.). https://elibrary.ru/pgiyju
4. Botta M., Wenstedt E.F.E., Tsonas A.M., Buiteman-Kruizinga L.A., van Meenen D.M.P., Korsten H.H.M. et al. Effectiveness, Safety and Efficacy of INTELLiVENT-adaptive Support Ventilation, a Closed-loop Ventilation Mode for Use in ICU Patients – A Systematic Review. *Expert Reviews of Respiratory Medicine.* 2021;15(11):1403–1413. https://doi.org/10.1080/17476348.2021.1933450
5. Singh P.M., Borle A., Trikha A. Newer Nonconventional Modes of Mechanical Ventilation. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock.* 2014;7(3):222–227. https://doi.org/10.4103/0974-2700.136869
6. Mazurok V.A. Proportional assist ventilation. *Translational Medicine.* 2020;7(1):39–52. (In Russ., abstract in Eng.). https://doi.org/10.18705/2311-4495-2020-7-1-39-52
7. Narchi H., Chedid F. Neurally Adjusted Ventilator Assist in Very Low Birth Weight Infants: Current Status. *World Journal of Methodology.* 2015;5(2):62–67. https://doi.org/10.5662/wjm.v5.i2.62
8. Yuan X., Lu X., Chao Y., Beck J., Sinderby C., Xie J. et al. Neurally Adjusted Ventilatory Assist as a Weaning Mode for Adults with Invasive Mechanical Ventilation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Critical Care.* 2021;25(1):222. https://doi.org/10.1186/s13054-021-03644-z
9. Umbrello M., Antonucci E., Muttini S. Neurally Adjusted Ventilatory Assist in Acute Respiratory Failure – A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine.* 2022;11(7):1863. https://doi.org/10.3390/jcm11071863
10. Eremenko A.A., Komnov R.D., Titov P.A., Gerasimenko S.A., Chakal D.A. Comparing the Intellivent-ASV® Mode with Conventional Ventilation Modes during Weaning after Uncomplicated Cardiac Surgery. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2021;18(3):36–45. (In Russ., abstract in Eng.). https://doi.org/10.21292/2078-5658-2021-18-3-36-45
11. Arnal J.M., Garnero A., Novotni D., Corno G., Donati S.Y., Demory D. et al. 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. https://doi.org/10.23736/S0375-9393.17.11963-2
12. De Bie A.J.R., Neto A.S., van Meenen D.M., Bouwman A.R., Roos A.N., Lameijer J.R. et al. Fully Automated Postoperative Ventilation in Cardiac Surgery Patients: A Randomised Clinical Trial. *British Journal of Anaesthesia.* 2020;125(5):739–749. https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.06.037
13. Ananyev E.P., Polupan A.A., Matskovskiy I.V., Oshorov A.V., Goryachev A.S., Savin I.A. et al. Use of the IntelliVent-ASV Mode for Maintaining the Target $EtCO_2$ Range in Patients with Severe TBI. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2017;81(5):63–68. (In Russ., in Eng.). https://doi.org/10.17116/neiro201781563-68

*Поступила 06.06.2025 г.; одобрена после рецензирования 29.08.2025 г.; принята к публикации 03.09.2025 г.*

*Об авторах:*

**Сопенко Ирина Вадимовна,** ординатор-кардиолог отделения биотехнологий медицинского факультета Обнинского института атомной энергетики – филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (249039, Российская Федерация, г. Обнинск, тер. Студгородок, д. 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9937-4659, sopenko2011@mail.ru

**Котляров Андрей Александрович,** доктор медицинских наук, профессор, начальник отделения биотехнологий, декан медицинского факультета Обнинского института атомной энергетики – филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (249039, Российская Федерация, г. Обнинск, тер. Студгородок, д. 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2766-7895, Scopus ID: 7003804087, SPIN-код: 4412-8317, AAKotlyarov@mephi.ru

**Климанов Сергей Геннадиевич,** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики № 31 Института лазерных и плазменных технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (115409, Российская Федерация, г. Москва, Каширское ш., 31), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6737-3790, Scopus ID: 55915838000, Researcher ID: R-7450-2016, SPIN-код: 4432-8611, s.klimanov@mephi.ru

**Смирнов Дмитрий Сергеевич,** кандидат экономических наук, доцент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (115409, Российская Федерация, г. Москва, Каширское ш., 31), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-4430, Scopus ID: 56203412400, Researcher ID: AAO-5075-2021, SPIN-код: 6447-5241, Dssmirnov@mephi.ru

*Вклад авторов:*

И. В. Сопенко – идея для написания обзора; критический анализ литературы; написание и редактирование рукописи.
А. А. Котляров – критический анализ литературы; написание и редактирование рукописи.
С. Г. Климанов – критический анализ литературы; написание и редактирование рукописи.
Д. С. Смирнов – критический анализ литературы; написание и редактирование рукописи.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Submitted 06.06.2025; revised 29.08.2025; accepted 03.09.2025.*

*About the authors:*

**Irina V. Sopenko,** Resident Cardiologist, Department of Biotechnology, Faculty of Medicine, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering (branch), National Research Nuclear University MEPhI (1, ter. Studgorodok, Obninsk 249039, Russian Federation), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9937-4659, sopenko2011@mail.ru

**Andrey A. Kotlyarov,** Dr.Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Biotechnology, Dean of the Faculty of Medicine, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering (branch), National Research Nuclear University MEPhI (1, ter. Studgorodok, Obninsk 249039, Russian Federation), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2766-7895, Scopus ID: 7003804087, SPIN-code: 4412-8317, AAKotlyarov@mephi.ru

**Sergey G. Klimanov,** Cand.Sci.(Phys.-Math.), Associate Professor, Department of Applied Mathematics No. 31, Institute of Laser and Plasma Technologies, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russian Federation), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6737-3790, Scopus ID: 55915838000, Researcher ID: R-7450-2016, SPIN-code: 4432-8611, s.klimanov@mephi.ru

**Dmitry S. Smirnov,** Cand.Sci. (Econ.), Associate Professor, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russian Federation), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-4430, Scopus ID: 56203412400, Researcher ID: AAO-5075-2021, SPIN-code: 6447-5241, dssmirnov@mephi.ru

*Authors' contribution:*

I. V. Sopenko – idea for writing a review; critical analysis of literature; writing and editing the manuscript.
A. A. Kotlyarov – critical analysis of literature; writing and editing the manuscript.
S. G. Klimanov – critical analysis of literature; writing and editing the manuscript.
D. S. Smirnov – critical analysis of literature; writing and editing the manuscript.

*All authors have read and approved the final manuscript.*