

Использование режима IntelliVent-ASV для поддержания целевого диапазона EtCO₂ у пациентов с тяжелой ЧМТ

Е.П. АНАНЬЕВ¹, к.м.н А.А. ПОЛУПАН^{1*}, И.В. МАЦКОВСКИЙ¹, д.м.н. А.В. ОШОРОВ¹, А.С. ГОРЯЧЕВ¹, д.м.н. И.А. САВИН¹, к.м.н. А.А. СЫЧЕВ¹, Т.Ф. ТАБАСАРАНСКИЙ¹, В.В. ПОДЛЕПИЧ¹, к.м.н. К.Ю. КРЫЛОВ¹, А.А. ПАШИН¹, О.Е. САТИШУР², L. PIQUILLOUD³, D. NOVOTNI⁴, акад. РАН А.А. ПОТАПОВ¹, Я.В. САВЧЕНКО¹

¹ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Москва, Россия; ²Больница скорой медицинской помощи г. Минска, Минск, Беларусь; ³CHUV-University Hospital of Lausanne, Лозанна, Швейцария; ⁴Hamilton Medical, Бонадуз, Швейцария

Цель исследования — оценить эффективность режима IntelliVent-ASV для поддержания целевого диапазона PaCO₂ у пациентов с тяжелой ЧМТ.

Материал и методы. В исследование включены 12 пациентов с тяжелой ЧМТ с угнетением уровня бодрствования до 4—9 баллов по шкале комы Глазго. Исследование имело дизайн кроссовера. Последовательно использовались два режима ИВЛ: IntelliVent-ASV и P-CMV по 12 ч каждый. При использовании режима P-CMV параметры вентиляции устанавливались таким образом, чтобы PaCO₂ находился в диапазоне 35—38 мм рт.ст. При использовании режима IntelliVent-ASV включался алгоритм вентиляции Brain Injury. Целевой диапазон EtCO₂ устанавливался в соответствии с дельтой PaCO₂—EtCO₂ таким образом, чтобы PaCO₂ находилось в диапазоне 35—38 мм рт.ст.

В начале каждого периода ИВЛ, а также каждые 3 ч выполнялся анализ газового состава артериальной крови. При выходе PaCO₂ за границы 35—38 мм рт.ст. вносились соответствующие корректировки в параметры вентиляции. В режиме P-CMV для достижения целевого диапазона PaCO₂ регулировались параметры P_{insp} и частоты вдохов. В режиме IntelliVent регулировалось смещение целевого диапазона EtCO₂ в соответствии с изменившейся разницей PaCO₂—EtCO₂.

Всем пациентам проводился мониторинг внутричерепного давления, артериального давления, EtCO₂, каждые 3 ч выполнялся анализ газового состава артериальной крови, фиксировалась частота ручных настроек параметров вентиляции.

Результаты. В ходе исследования установлено, что показатели EtCO₂ и PaCO₂ при использовании режимов P-CMV и IntelliVent статистически значимо не различались, однако разброс этих показателей был существенно меньше при ИВЛ, проводимой в режиме IntelliVent. При использовании режима IntelliVent показатель PaCO₂ выходил за рамки целевого диапазона существенно реже, чем при использовании режима P-CMV. Средняя частота необходимости ручных настроек респиратора для поддержания целевого диапазона EtCO₂ при использовании режима IntelliVent-ASV была существенно ниже, чем при использовании режима P-CMV.

Заключение. Использование режима IntelliVent-ASV позволяет более эффективно поддерживать PaCO₂ в целевом диапазоне по сравнению с традиционной ИВЛ с использованием меньшего количества ручных настроек параметров вентиляции.

Ключевые слова: искусственная вентиляция легких, черепно-мозговая травма, IntelliVent-ASV.

Use of the IntelliVent-ASV mode for maintaining the target EtCO₂ range in patients with severe TBI

Е.П. АНАНЬЕВ¹, А.А. ПОЛУПАН¹, И.В. МАЦКОВСКИЙ¹, А.В. ОШОРОВ¹, А.С. ГОРЯЧЕВ¹, И.А. САВИН¹, А.А. СЫЧЕВ¹, Т.Ф. ТАБАСАРАНСКИЙ¹, В.В. ПОДЛЕПИЧ¹, К.Ю. КРЫЛОВ¹, А.А. ПАШИН¹, О.Е. САТИШУР², L. PIQUILLOUD³, D. NOVOTNI⁴, А.А. ПОТАПОВ¹, Я.В. САВЧЕНКО¹

¹Burdenko Neurosurgical Institute, Moscow, Russia; ²Emergency Hospital of Minsk, Minsk, Belarus; ³CHUV-University Hospital of Lausanne, Lausanne, Switzerland; ⁴Hamilton Medical, Bonaduz, Switzerland

Purpose — the study purpose was to evaluate the efficacy of the IntelliVent-ASV mode in maintaining the target range of PaCO₂ in patients with severe TBI.

Material and methods. The study included 12 severe TBI patients with the wakefulness level scored 4—9 (GCS). This was a crossover design study. Two ventilation modes were consecutively used: IntelliVent-ASV and P-CMV, for 12 h each. When using the P-CMV mode, the ventilation parameters were set to maintain PaCO₂ in a range of 35—38 mm Hg. The IntelliVent-ASV mode involved the Brain Injury ventilation algorithm. The target range of EtCO₂ was set in accordance with the delta PaCO₂—EtCO₂ to maintain PaCO₂ in a range of 35—38. At the beginning of each ventilation period and every 3 hours, the arterial blood gas composition was analyzed. When PaCO₂ occurred out of the 35—38 range, appropriate adjustments were made to the ventilation parameters. In the P-CMV mode, the P_{insp} and RR parameters were adjusted to achieve the target PaCO₂ range. In IntelliVent mode, a shift of the target EtCO₂ range was adjusted in accordance with a changed PaCO₂—EtCO₂ difference. In all patients, ICP, blood pressure, and EtCO₂ were monitored; the arterial blood gas composition was analyzed every 3 h; the frequency of manual settings of ventilation parameters was recorded.

Results. The EtCO₂ and PaCO₂ parameters were found not to be significantly different in the P-CMV and IntelliVent modes, but the spread in these parameters was significantly lower in the IntelliVent ventilation mode. The PaCO₂ parameter occurred out of the target range significantly less often in the IntelliVent mode than in the P-CMV mode. The mean frequency of manual respirator settings needed to maintain the target EtCO₂ range was significantly lower in the IntelliVent-ASV mode than in the P-CMV mode.

Conclusion. The IntelliVent-ASV mode provides more efficient maintenance of PaCO₂ in the target range compared to traditional artificial ventilation using fewer manual settings of the ventilation parameters.

Keywords: artificial ventilation, traumatic brain injury, IntelliVent-ASV.

Список сокращений

ИВЛ — искусственная вентиляция легких
 ОРДС — острый респираторный дистресс-синдром
 ПДКВ — положительное давление конца выдоха
 ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких
 ЧМТ — черепно-мозговая травма
 EtCO₂ — давление углекислого газа конца выдоха
 FiO₂ — фракция кислорода дыхательной смеси
 MV — минутный объем дыхания
 PaCO₂ — парциальное давление углекислого газа артериальной крови
 P_{insp} — давление вдоха, развиваемое аппаратом ИВЛ
 P_{peak} — пиковое давление вдоха
 P_{plat} — давление плато вдоха
 P-CMV — принудительный режим ИВЛ с управлением по давлению
 SpO₂ — пульсоксиметрия, неинвазивный метод измерения процентного содержания оксигемоглобина в артериальной крови
 TV — объем вдоха или выдоха

Респираторная поддержка является одним из ключевых компонентов интенсивной терапии пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ). Подходы к искусственной вентиляции легких (ИВЛ) у пациентов с повреждением головного мозга обладают своей спецификой. Принципиально важным является поддержание узкого терапевтического диапазона парциального давления углекислого газа в артериальной крови (PaCO₂). PaCO₂ является одним из основных регуляторов тонуса церебральных сосудов. У пациентов с тяжелой ЧМТ необходимо избегать как гипер-, так и гипокапнии. При гиперкапнии развивается дилатация сосудов головного мозга, нарушаются механизмы ауторегуляции мозгового кровотока, что приводит к прогрессированию внутричерепной гипертензии. Гипокапния, наоборот, вызывает вазоконстрикцию, усугубляя ишемию головного мозга [1, 7]. При проведении ИВЛ врач регулирует уровень PaCO₂, управляя минутным объемом вентиляции, ориентируясь на анализ газового состава артериальной крови и данные капнографии.

В последние годы в клиническую практику активно внедряются новые интеллектуальные режимы ИВЛ, работающие по принципу обратной связи с пациентом. В целях обеспечения респираторной поддержки пациентам с тяжелой ЧМТ особенно перспективным представляется режим IntelliVent, обеспечиваемый аппаратами фирмы «Hamilton Medical». В режиме IntelliVent-ASV реализованы алгоритмы управления минутным объемом вентиляции, уровнем положительного давления конца выдоха (ПДКВ) и фракцией кислорода, основанные на мониторинге EtCO₂ и SpO₂ с помощью интегриро-

ванных в аппарат ИВЛ пульсоксиметрического и капнометрического датчиков. Алгоритмы поддержания заданных диапазонов EtCO₂ и SpO₂ различаются в зависимости от патологии. В режиме реализованы 4 алгоритма: «здоровые легкие», «хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ)», «острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС)» и «повреждение мозга». При использовании алгоритма «повреждение мозга» IntelliVent поддерживает узкий диапазон EtCO₂ за счет управления минутным объемом вентиляции и целевой уровень SpO₂ за счет управления фракцией кислорода. Уровень ПДКВ при использовании алгоритма «повреждение мозга» регулируется вручную во избежание повышения внутригрудного давления и нарушения венозного оттока от головного мозга. При выходе значений EtCO₂ за границы установленного диапазона IntelliVent-ASV автоматически увеличивает (при гиперкапнии) или уменьшает (при гипокапнии) минутный объем вентиляции.

Режим IntelliVent-ASV показал свою эффективность, обеспечивая оптимальные параметры респираторной поддержки после кардиохирургических вмешательств [1] и у пациентов с острой дыхательной недостаточностью на фоне ХОБЛ и ОРДС [2—4]. Также в нескольких работах показана эффективность режима IntelliVent-ASV при отлучении от респиратора [5, 6]. Работ, посвященных использованию данного режима у пациентов с острым повреждением головного мозга, в настоящий момент нет.

Цель исследования — оценить эффективность режима IntelliVent-ASV для поддержания целевого диапазона PaCO₂ у пациентов с тяжелой ЧМТ.

Материал и методы

В исследование включены 12 пациентов (8 мужчин и 4 женщины, средний возраст $37,6 \pm 9,6$ года) с тяжелой изолированной ЧМТ. Критериями включения служили: срок с момента ЧМТ не более 72 ч, уровень бодрствования 4–9 баллов по шкале комы Глазго, критериями исключения — возраст менее 18 лет, тяжелое повреждение легких с разницей EtCO_2 и PaCO_2 более 10 мм рт.ст., нестабильность гемодинамики с потребностью инфузии норадреналина со скоростью более 0,5 мкг/кг/мин.

Всем пациентам, включенным в исследование, проводилась ИВЛ аппаратом Hamilton G5 с седацией пропофолом до уровня подавления спонтанной дыхательной активности. При необходимости использовались миорелаксанты.

Исследование носило дизайн кроссовера. Последовательно использовались два режима ИВЛ: IntelliVent-ASV и P-CMV по 12 ч каждый. Последовательность использования режимов определялась путем рандомизации.

При использовании режима P-CMV параметры вентиляции устанавливались таким образом, чтобы PaCO_2 находился в диапазоне 35–38 мм рт.ст.

При использовании режима IntelliVent-ASV включался алгоритм вентиляции «повреждение мозга». Целевой диапазон EtCO_2 устанавливался в соответствии с дельтой $\text{PaCO}_2 - \text{EtCO}_2$ таким образом, чтобы PaCO_2 находилось в диапазоне 35–38 мм рт.ст. Целевой диапазон SpO_2 смещался максимально вправо до 97–100% (рис. 1).

В начале каждого периода ИВЛ, а также каждые следующие 3 ч выполнялся анализ газового состава артериальной крови. При выходе PaCO_2 за границы 35–38 мм рт.ст. вносились соответствующие корректировки в параметры вентиляции. В режиме P-CMV для достижения целевого диапазона PaCO_2 регулировались параметры Pinsp и частоты вдохов. В режиме IntelliVent регулировалось смещение целевого диапазона EtCO_2 в соответствии с изменившейся разницей $\text{PaCO}_2 - \text{EtCO}_2$.

У всех пациентов проводился мониторинг внутричерепного давления с использованием паренхиматозных датчиков Codman и инвазивный мониторинг артериального давления. Прикроватный мониторинг также включал ЭКГ-мониторинг, мониторинг EtCO_2 и SpO_2 .

Критериями для прекращения исследования служили: развитие выраженной внутричерепной гипертензии, резистентной к углублению седации и использованию гиперосмолярных растворов, ухудшение легочной функции с возрастанием разницы $\text{PaCO}_2 - \text{EtCO}_2$ более 10 мм рт.ст., ухудшение состояния пациента, требующее его транспортировки для выполнения диагностических или лечебных мероприятий. Пациенты, достигшие данных критериев, из исследования исключались.

Сбор данных респираторного мониторинга с аппарата ИВЛ выполнялся с помощью программного обеспечения Study Recorder. Кроме того, каждый час вручную фиксировались показатели EtCO_2 , FiO_2 , ПДКВ, MV, TV, Pplate, Ppeak, Pinsp , SpO_2 . Статистический анализ данных выполнялся с помощью статистического пакета Statistica 7.0.



Рис. 1. Установки параметров вентиляции в режиме IntelliVent.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко (протокол №5, 2013).

Результаты и обсуждение

В ходе исследования установлено, что показатели EtCO_2 и PaCO_2 при использовании режимов P-CMV и IntelliVent статистически значимо не различались. Уровень PaCO_2 составил 36 (35–37) мм

рт.ст. в режиме IntelliVent и 36 (34–38) мм рт.ст. в режиме P-CMV ($p=0,35$). Уровень EtCO_2 составил 33 (32–37) мм рт.ст. и 34,5 (31–39) мм рт.ст. при ИВЛ в режимах IntelliVent и P-CMV соответственно ($p=0,39$). На фоне отсутствия статистически значимых различий PaCO_2 и EtCO_2 при проведении ИВЛ в режимах IntelliVent-ASV и P-CMV наблюдается, что разброс данных показателей существенно меньше при ИВЛ в режиме IntelliVent (рис. 2 и 3).

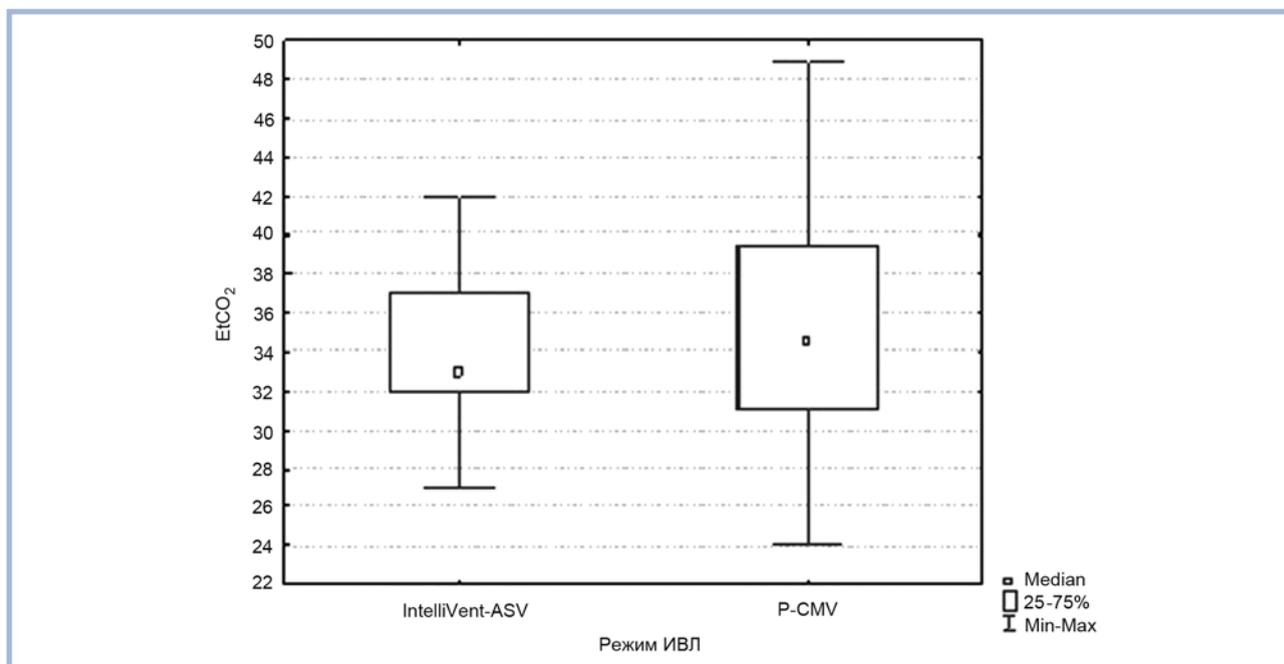


Рис. 2. Зависимость EtCO_2 от режима ИВЛ.

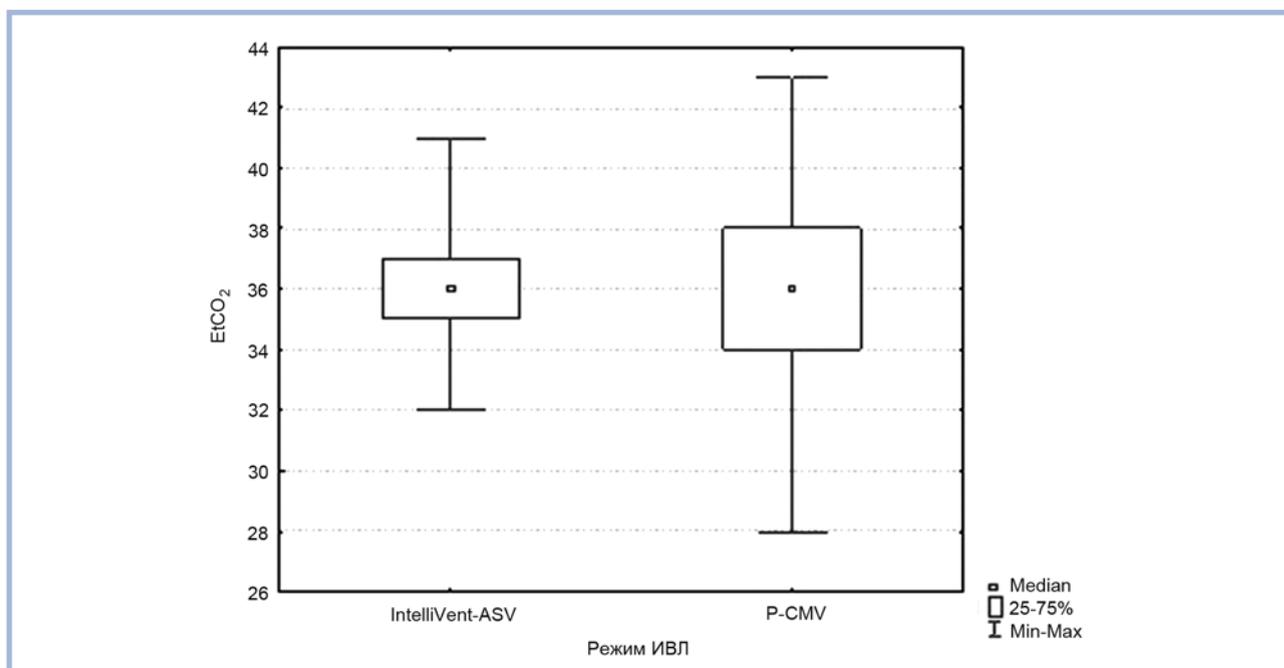


Рис. 3. Зависимость PaCO_2 от режима ИВЛ.

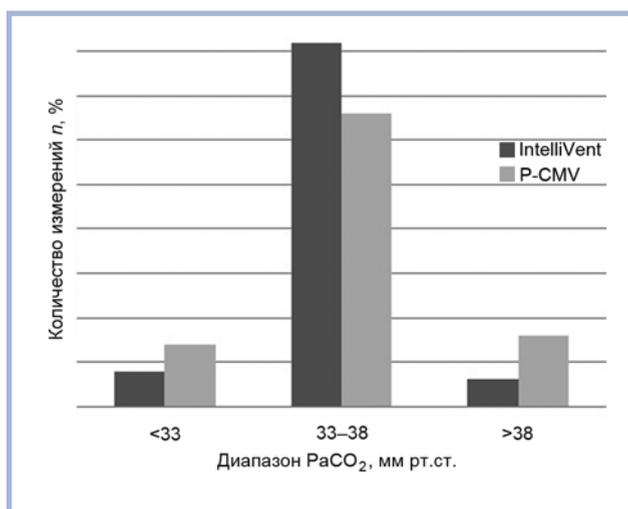


Рис. 4. Изменение PaCO₂ при различных режимах ИВЛ.

Газовый состав артериальной крови в каждом режиме ИВЛ анализировался 4 раза за 12 ч. Таким образом, для 12 пациентов было получено по 48 точек анализа газового состава крови для каждого режима ИВЛ. Мы условно выделили три диапазона PaCO₂: целевой (33–38 мм рт.ст.), гипокпапния (<33 мм рт.ст.) и гиперкапния (>38 мм рт.ст.). На рис. 4 представлено распределение PaCO₂ по трем диапазонам для каждого режима ИВЛ. Видно, что при использовании режима IntelliVent показатель PaCO₂ выходит за рамки целевого диапазона существенно реже, чем при использовании режима P-CMV.

Средняя частота необходимости ручных настроек респиратора для поддержания целевого диапазо-

на EtCO₂ при использовании режима IntelliVent-ASV была существенно ниже, чем при использовании режима P-CMV. За 12-часовой период ИВЛ в режиме IntelliVent-ASV средняя частота ручных настроек составила $0,66 \pm 0,89$, а в режиме P-CMV — $2,9 \pm 1,7$ ($p=0,04$) (рис. 5).

В ходе нашего исследования было продемонстрировано, что использование режима IntelliVent-ASV позволяет обеспечить более узкий диапазон целевого PaCO₂ у пациентов с ЧМТ при уменьшении потребности в ручных настройках параметров вентилиции и соответственно снижении нагрузки на медицинский персонал.

Наши данные согласуются с данными других авторов, исследовавших эффективность режима IntelliVent-ASV у пациентов без повреждения головного мозга.

F. Lellouche и соавт. [1] сравнивали режим IntelliVent-ASV со стандартной ИВЛ у пациентов после кардиохирургических вмешательств. Для оценки безопасности ИВЛ авторы выделили 3 зоны вентилиции: оптимальную (TV=6–10 мл/кг, Pplato <30 mbar, EtCO₂=30–45 мм рт.ст., SpO₂=94–98%), допустимую (TV=10–12, Pplato=30–35 mbar, EtCO₂=25–30 или 45–50 мм рт.ст., SpO₂=85–93%) и недопустимую (TV>12 мл/кг, Pplato >35 mbar, EtCO₂>50, SpO₂<85%). Сравнивалась частота эпизодов ИВЛ длительностью более 30 с в недопустимой зоне, а также длительность ИВЛ в каждой из вентиляционных зон. Кроме того, оценивалась частота ручных настроек ПДКВ, FiO₂ и минутного объема вентилиции. В ходе данного исследования было продемонстрировано, что количество эпизодов ИВЛ с недопустимыми параметрами было существенно ниже при

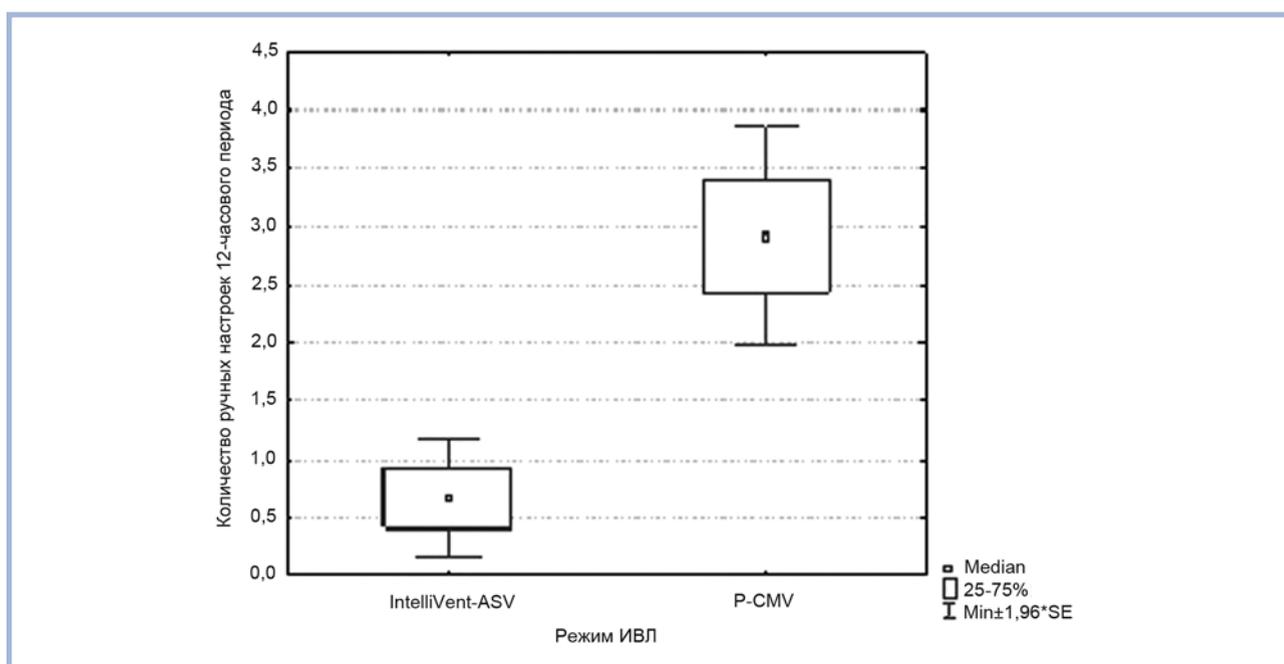


Рис. 5. Влияние режима ИВЛ на частоту ручных настроек параметров вентилиции.

использовании режима IntelliVent, чем при использовании традиционной ИВЛ. При ИВЛ в режиме IntelliVent-ASV длительность ИВЛ в оптимальной зоне была статистически значимо выше, а в допустимой и недопустимой зонах статистически значимо ниже по сравнению с традиционной ИВЛ. У 100% пациентов, получавших ИВЛ в стандартном режиме, требовалась ручная коррекция параметров вентиляции, в то время как при использовании режима IntelliVent-ASV ручная коррекция параметров ИВЛ требовалась только у 13% пациентов [1].

Полученные в ходе нашего исследования данные, из-за малого количества наблюдений не позволяющие выполнить достоверный статистический анализ, на основании выявленных тенденций дают возможность предположить, что автоматическая коррекция минутного объема и снижение колебаний PaCO_2 позволят повысить безопасность пациента, снизив риски вторичных ишемических по-

вреждений головного мозга вследствие эпизодов гипо- или гиперкапнии [7]. Дальнейшие исследования необходимы для уточнения клинической значимости продемонстрированных преимуществ режима IntelliVent-ASV с точки зрения оптимизации ауторегуляции сосудов головного мозга и церебральной гемодинамики.

Выводы

Использование режима IntelliVent-ASV позволяет более эффективно поддерживать PaCO_2 в целевом диапазоне по сравнению с традиционной ИВЛ. Необходимость в ручных настройках параметров вентиляции при проведении ИВЛ в режиме IntelliVent существенно ниже, чем при стандартном режиме ИВЛ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Lellouche F, Bouchard PA, 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. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2799-2>
- Arnal JM, Wysocki M, Novotni D, Demory D, Lopez R, Donati S, Graniere I, Corno G, Durand-Gasselien J. Safety and efficacy of a fully closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV) in sedated ICU patients with acute respiratory failure: a prospective randomized crossover study. *Intensive Care Medicine*. 2012;38:781-787. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2548-6>
- Arnal JM, Garnero A, Novotni D, Demory D, Ducros L, Berric A, Donati S, Corno G, Jaber S, Durand-Gasselien J. Feasibility study on full closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV) in ICU patients with acute respiratory failure: a prospective observational comparative study. *Crit Care*. 2013;17:196. <https://doi.org/10.1186/cc12890>
- Bialais E, Vignaux L, Wittebole X, Novotni D, Meyer J, Wysocki M, Sottiaux T, Reyckler G, Roeseler J, Laterre P, Hantson P. Comparison of an entirely automated ventilation mode, IntelliVent-ASV, with conventional ventilation in ARDS patients: a 48-hour study. *Critical Care*. 2013;17:98. <https://doi.org/10.1186/cc12036>
- Jouvet P, Eddington A, Payen Y, Bordessoule A, Emeriaud G, Gasco RL, Wysocki M. A pilot prospective study on closed loop controlled ventilation and oxygenation in ventilated children during the weaning phase. *Critical Care*. 2012;16:85. <https://doi.org/10.1186/cc11343>
- Clavieras N, Wysocki M, Coisel Y, Galia F, Conseil M, Chanques G, Jung B, Arnal JM, Matecki S, Molinari N, Jaber S. Prospective randomized crossover study of a new closed-loop control system versus pressure support during weaning from mechanical ventilation. *Anesthesiology*. 2013;119:631-641. <https://doi.org/10.1186/cc11343>
- Бабаян Е., Зельман В.Л., Полунин Ю.С., Шеголев А.В. Защита мозга от ишемии: состояние проблемы. *Анестезиология и реаниматология*. 2005;4:4-14. [Babaian E, Zel'man VL, Polunin YuS, Shchegolev AV. Brain protection during ischemia: state-of-the-art. *Anesteziol Reanimatol*. 2005;4:4-14.

Поступила 20.03.17

Комментарий

В настоящее время в клиническую практику активно внедряются интеллектуальные режимы ИВЛ, работающие по принципу обратной связи. Однако в доступной литературе результаты их практического использования представлены весьма ограниченно. В частности, рекомендаций по использованию интеллектуальных режимов ИВЛ с обратной связью для лечения пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой (ТЧМТ) нет. Вместе с тем известно, что использование интеллектуальных режимов ИВЛ в интенсивной терапии пациентов общехирургического профиля достоверно сокращает сроки ИВЛ и время нахождения в отделении реанимации и интенсивной терапии.

Необходимость коррекции внутричерепной гипертензии у пациентов с ТЧМТ не позволяет механически перенести на них принципы респираторной поддержки, разработанные для пациентов общехирургического профиля. В лечении пациентов с ТЧМТ принципиально важной задачей является поддержание целевых показаний PaCO_2 ,

В выполненной коллективом авторов работе продемонстрирована возможность поддержания углекислого газа артериальной крови в целевых пределах (PaCO_2 32–38 мм рт. ст.) при использовании интеллектуального режима IntelliVent-ASV. Также показано, что при использовании этого режима ИВЛ удается поддерживать целевые показатели PaCO_2 более эффективно, чем при использовании традиционного режима ИВЛ (CMV-PC).

Преимуществом режима IntelliVent-ASV, по мнению авторов, также является меньшая частота коррекции параметров вентиляции, что снижает нагрузку на врача и средний медперсонал, участвующий в лечении. Этот фактор, безусловно, снижает вероятность ошибок, связанных с переутомлением персонала.

Представленная коллективом авторов работа, несомненно, имеет практическую ценность для всех врачей и медсестер, участвующих в лечении пациентов с ТЧМТ.

А.В. Шеголев (Санкт-Петербург)