

Применение непрерывной вспомогательной вентиляции легких при гиперкапнической дыхательной недостаточности

П. Капралова¹, П. Житва¹, С. Мишикова², Л. Кочан¹, П. Фирмент³

¹ Отделение анестезиологии и интенсивной терапии, Восточно-Словацкий Институт сердечно-сосудистых заболеваний и Университет им. П. Дж. Шафарика, Ондавска, д. 8, г. Кошице, Словакия

² Отделение кардиологии, Восточно-Словацкий Институт сердечно-сосудистых заболеваний и Университет им. П. Дж. Шафарика, Ондавска, д. 8, г. Кошице, Словакия

³ Отделение анестезиологии и интенсивной терапии, больница Университета Райманса, Дж. Холлехо, д. 14, г. Прешов, Словакия

The use of continuous Flow Ventilatory Support for Hypercapnic Respiratory Failure

Petra Kapraľová¹, Peter Žitva¹, Sylvia Mišiková², Ladislav Kočan¹, Peter Firment³

¹ Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, East Slovak Institute for Cardiovascular Diseases and P.J. Šafarik University, 8 Ondavská, Košice, Slovakia

² Department of Cardiology, East Slovak Institute for Cardiovascular Diseases and P.J. Šafarik University, 8 Ondavská, Košice, Slovakia

³ Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Raimans University hospital, 14 J. Hollého, Prešov, Slovakia

Нарастание гиперкапнической дыхательной недостаточности является признанной причиной смертности у пациентов, страдающих хроническими неспецифическими заболеваниями легких (ХНЗЛ). Операции на сердце и их осложнения представляют собой значительный риск для таких пациентов.

Цель исследования — оценка эффективности непрерывной вспомогательной вентиляции легких (НВВЛ) при развитии гиперкапнической дыхательной недостаточности у больных с ХНЗЛ, оперируемых на сердце.

Материалы и методы. НВВЛ применили у 11 больных ХНЗЛ (стадия, в среднем — 2,55±0,52), оперируемых на сердце, после отключения от «традиционной» ИВЛ с контролем по давлению (ВКД) или ИВЛ с поддержкой давлением (ВПД). У всех пациентов в послеоперационном периоде возникла гиперкапния с дыхательной недостаточностью, проявившаяся через 15±10 часов после отключения от ИВЛ. НВВЛ проводили с помощью назотрахеального катетера (диаметром 5–6 мм) со средним инспираторным потоком $Q_{in} = 26 \pm 2,3$ л/мин при использовании $FiO_2 = 0,3-0,35$.

Результаты. Только у одного из 11 пациентов гиперкапническую дыхательную недостаточность не купировали с помощью НВВЛ, и ему пришлось интубировать трахею. После начала НВВЛ частота спонтанной вентиляции постепенно снижалась с 24,8±3,6 вдохов/мин до 16±2 вдохов/мин ($p < 0,01$). Среднее значение PaO_2 до начала НВВЛ составляло 59±7,5 мм рт. ст. Непосредственно перед прекращением НВВЛ оно повысилось до 99,6±4,5 мм рт. ст. ($p < 0,01$). $PaCO_2$ до НВВЛ составляло 73,2±7,5 мм рт. ст. и снизилось перед ее прекращением до 45,7±4,3 мм рт. ст. ($p < 0,01$). Снижение $PaCO_2$ было особенно быстрым в первые 18 часов применения НВВЛ. Средняя продолжительность применения НВВЛ составила 3,09±0,9 дней.

Заключение. НВВЛ является эффективным и минимально инвазивным режимом вспомогательной вентиляции, который может применяться при развитии гиперкапнической дыхательной недостаточности для избегания необходимости интубации трахеи и проведения традиционной ИВЛ.

Ключевые слова: вспомогательная вентиляция; отключение от механической вентиляции; непрерывная вспомогательная вентиляция легких

Our aim was to assess the effectivity of continuous flow ventilatory support (CFVS) in those COPD patients undergoing cardiac surgery who developed hypercapnic respiratory failure.

Materials and methods. CFVS was applied in 11 COPD (Stage 2.55±0.52 on average) patients undergoing cardiac surgery, after weaning from «conventional» pressure controlled (PCV) or pressure support ventilation (PSV)

Адресс для корреспонденции:

Петра Капралова
E-mail: pkapralova@vuschi.sk

Correspondence to:

Petra Kapraľová
E-mail: pkapralova@vuschi.sk

mode. All of these patients had hypercapnea with respiratory failure that has been manifested after 15 ± 10 hours after postoperative weaning from ventilator. CFVS was applied using nasotracheal catheter (diameter 5–6 mm) with average inspiratory flow $Q_{in} = 26 \pm 2,3$ l/min while using FiO_2 of 0.3–0.35.

Results. Only one out of 11 patients failed to recover from hypercapnic respiratory failure using CFVS and had to be intubated instead. Spontaneous ventilation frequency was gradually decreasing from 24.8 ± 3.6 breaths/min to 16 ± 2 breaths/min after initiation of CFVS ($P < 0.01$). Average value of PaO_2 before CFVS was 59 ± 7.5 mmHg and rose to 99.6 ± 4.5 mmHg just before CFVS was terminated ($P < 0.01$). $PaCO_2$ before CFVS was measured to be 73.2 ± 7.5 mmHg and dropped to 45.7 ± 4.3 mmHg ($P < 0.01$). CO_2 drop was fast in the first 18 hours from CFVS application. Average time for application of CFVS was 3.09 ± 0.9 day.

Conclusion. CFVS is an effective and minimally invasive mode of ventilation support that can be used in patients suffering from hypercapnic respiratory failure to avoid the need to intubate trachea and connect the patient to conventional ventilator.

Keywords: ventilatory support; weaning from mechanical ventilation; continuous flow ventilation support

DOI:10.15360/1813-9779-2019-5-23-33

Введение

Дыхательная недостаточность (ДН) определяется, как неспособность органов дыхания поддерживать нормальный уровень $PaO_2 > 60$ мм рт. ст. и $PaCO_2 > 50$ мм рт. ст. на уровне моря.

Гипоксемическая дыхательная недостаточность (тип 1) характеризуется падением PaO_2 без повышения или с небольшим повышением $PaCO_2$. Гиперкапническая дыхательная недостаточность (тип 2) характеризуется большим снижением PaO_2 и большим повышением $PaCO_2$ [1].

Гиперкапническая дыхательная недостаточность может быть результатом многих заболеваний, повреждающих нервную, скелетно-мышечную или легочную сосудистую систему. Например: отравления, воспалительные заболевания легких, травма, бронхиальная астма, хронические неспецифические заболевания легких (ХНЗЛ), обструкция бронхиального дерева при гиперсекреции, бронхопневмонии и т. д. Существуют общие клинические и кислотно-основные признаки развития гиперкапнической ДН вследствие какой-либо причины [2, 3], например: падение PaO_2 , падение $PaCO_2$, ацидоз. Повышенный уровень $PaCO_2$ приводит к активации симпатической системы, легочной гипертензии, гиповентиляции и, в конечном счете, к тяжелой гипоксемии и «циркуляторному коллапсу».

Наиболее частой причиной гиперкапнической ДН является ХНЗЛ. У подобных пациентов также наблюдается сопутствующая нервно-мышечная слабость, нарушение сознания и повышается риск возникновения пневмонии. Обычно, терапией первой линии для этих пациентов является вспомогательная неинвазивная вентиляция (НИВ) — с помощью маски или других средств. Однако, зачастую необходима интубация трахеи и проведение традиционной механической вентиляции [4]. Интубация трахеи часто рассматривается в случаях, когда «не срабатывает» НИВ [4–6]. Непрерывная вспомогательная вентиляция

Introduction

Respiratory failure (RF) is defined as inability of respiratory system to maintain normal level of $PaO_2 > 60$ mmHg and $PaCO_2 > 50$ mmHg at sea level.

Hypoxemic respiratory failure (type 1) is characterized by drop in PaO_2 without or with small increase in $PaCO_2$. Hypercapnic respiratory failure (type 2) is characterized by large decrease in PaO_2 and large increase in $PaCO_2$ [1].

Hypercapnic respiratory failure may result from various diseases affecting neurologic, musculoskeletal or pulmonary vasculature, for example: inflammatory lung diseases, trauma, bronchial asthma, chronic obstructive pulmonary diseases (COPD), obstruction from secretions, bronchopneumonia, intoxication, etc. There are common clinical signs and acid base parameters with developed hypercapnic RF from whatever the cause [2,3], e.g. drop in PaO_2 , drop in $PaCO_2$, acidosis. Increased level of $PaCO_2$ results to sympathetic system activation, pulmonary hypertension, hypoventilation and eventually to severe hypoxemia and circulatory collapse.

The most common cause of hypercapnic RF is COPD. These patients also have concomitant neuromuscular weakness, impaired consciousness and high chance of gaining pneumonia. Usual first-line therapy in such patients is non-invasive ventilatory support (NIV), with CPAP mask or other means. However, intubation with conventional mechanical ventilation is often necessary [4]. We often consider intubation [4–6] when NIV fails. CFVS has proven to be effective method of improving ventilation parameters in patients with hypercapnic RF. Therefore, we decided to apply CFVS to COPD patients undergoing cardiosurgical operations.

Basic changes of gas exchange in hypercapnic respiratory failure. In patients with acute or chronic hypercapnia even a small decrease in minute ventilation (MV) may result in significant increase of its severity.

Example: Even a small decrease in MV in COPD patients with chronic hypercapnia with

легких (НВВЛ) оправдала себя как эффективный способ улучшения параметров дыхания у пациентов с гиперкапнической ДН. Поэтому мы решили применить НВВЛ пациентам с ХНЗЛ, которым проводят кардиохирургические операции.

Основные изменения газообмена при гиперкапнической дыхательной недостаточности. У больных с острой или хронической гиперкапнией даже небольшое снижение минутной вентиляции (МВ) может привести к значительному повышению ее выраженности.

Пример: Небольшое снижение МВ у пациентов, страдающих ХНЗЛ и хронической гиперкапнией, с величинами pCO_2 — 60 мм рт. ст. и выше, может вызвать серьезное повышение значений pCO_2 . Это может быть связано с анальгезией, седацией и т. д. Аналогично, повышение вентиляции мертвого пространства (МП/ДО) может привести к быстрому повышению CO_2 [7]. Зависимость между альвеолярной вентиляцией (АВ) и pCO_2 не является линейной, и при небольшом снижении альвеолярной вентиляции следует значимое повышение значения pCO_2 (рис. 1).

Теоретические и биофизические принципы НВВЛ. Используя НВВЛ, мы постулировали динамическое уменьшение мертвого пространства (МП) высоким потоком газов в трахею [8]. Доказано, что минутная вентиляция (МВ) может уменьшиться у пациентов с гиперкапнической ДН, у которых имеется увеличение анатомического и функционального мертвого пространства (МПан + МПф) [7].

Частичное выведение газов в анатомическом мертвом пространстве и его влияние на газообмен в легком. Имеется возможность использовать «физиологический резерв» при лечении пограничной вентиляционной дыхательной недостаточности. Этот резерв создается анатомическим мертвым пространством (МПан), в частности — носо- и ротоглоткой, трахеей, включая ее бифуркацию, а также бронхами первого порядка. При введении назотрахеального катетера диаметром 4–6 мм (для взрослого) в трахею ниже голосовой щели и подаче нужного объема газового потока, CO_2 будет вымыт из мертвого пространства (МП), т.е. произойдет его динамическое уменьшение. В отличие от анатомического мертвого пространства функциональное мертвое пространство может быть уменьшено даже на 66%, так как газ, содержащийся в МП в конце выдоха, не будет практически совсем содержать CO_2 . Последующий вдох доставит объем «отмытого» мертвого пространства в альвеолы практически с нулевым содержанием CO_2 [8, 9].

Альвеолярная вентиляция $AB = (ДО - МП) \times f$.
 $AB = (450 - 150) \times 15 = 4500$ мл. Уменьшение МП

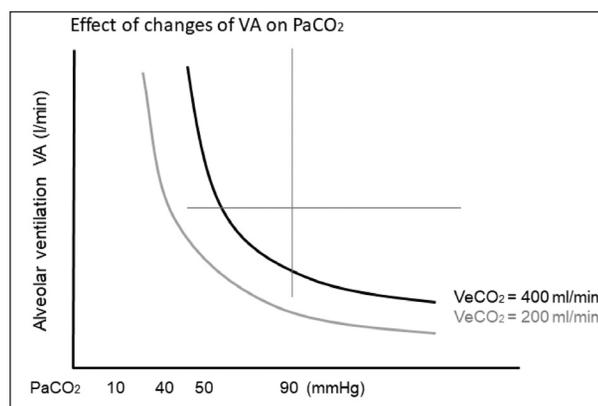


Рис. 1. Зависимость между альвеолярной вентиляцией (АВ) и pCO_2 .

Fig. 1. Dependence between alveolar ventilation (VA) and pCO_2 .

Примечание. Effect of VA changes on... — схема — эффект изменения АВ на — схема; alveolar ventilation — альвеолярная вентиляция.

pCO_2 level of 60 mmHg may cause a significant increase in pCO_2 . This can be due even to analgesia, sedation etc. Similarly, increase in dead space ventilation to tidal volume (VD/VT) can lead to fast increase in CO_2 [7]. Dependence between alveolar ventilation (VA) and pCO_2 is not linear and with small decrease in alveolar ventilation, rise in pCO_2 follows (fig. 1).

Theoretical and biophysical principles of CFVS. When creating CFVS we postulated dynamic decrease of dead space (VD) with high flow of gases into trachea [8]. It is proven that minute ventilation (MV) can decrease in patients with hypercapnic RF. Moreover, there is an increase in anatomical and functional dead space ($VDaw + VDF$). [7]

Partial elimination of gases in anatomical dead space and its influence on gas exchange in lung.

There is a possibility to use «physiological reserve» when treating borderline ventilatory or respiratory failure. This reserve is created by anatomical dead space ($VDaw$), e. g. naso-oral part of upper respiratory system, larynx, trachea with tracheal bifurcation and main bronchi. If we administer nasotracheal catheter with diameter of 4–6 mm (for adult) into the trachea below the glottis, and right amount of gas flow will be delivered, CO_2 will be washed out of dead space (VD). Dynamic decrease in dead space will occur. In contrast to anatomical dead space, the functional dead space can even be decreased up to 66% because gas in VD at the end of expiration will not contain almost any CO_2 . The following inspiration will deliver «washed» dead space volume into alveoli that contains almost no CO_2 [8, 9].

Alveolar ventilation $VA = (VT - VD) \times f$. $VA = (450 - 150) \times 15 = 4500$ ml. Decrease of VD in 100 ml will lead to increase in $VA = 6000$ ml, representing an increase up to 25% without any additional

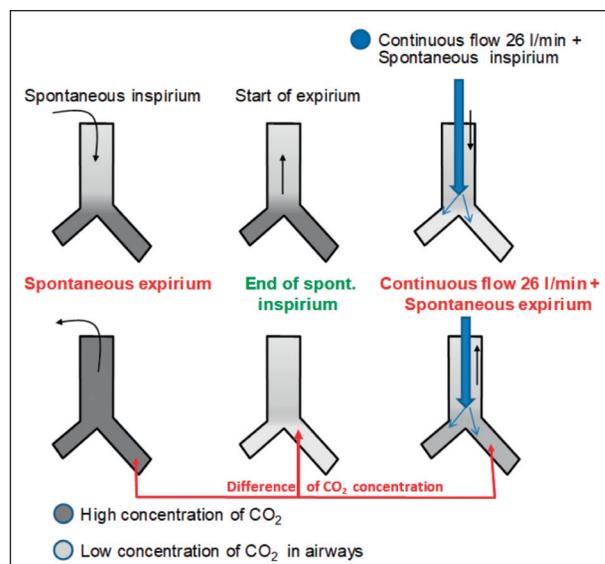


Рис. 2. Концентрация CO₂ в дыхательных путях во время дыхательного цикла. Схема.

Fig. 2. Concentration of CO₂ in the respiratory tract during the respiratory cycle. Scheme.

Примечание. Continuous flow — непрерывный поток; spontaneous inspirium /expirium — спонтанный вдох/выдох; start of/end of — начало/конец; difference — разница; high/low concentration ... in airways — высокая/низкая концентрация ... в дыхательных путях.

на 100 мл приведет к увеличению АВ = 6000 мл, что является ее увеличением на 25% без каких-либо дополнительных усилий со стороны пациента, т.е. произойдет существенное уменьшение работы дыхания и увеличение альвеолярной вентиляции (АВ) [8, 9] (рис. 2).

Поток газа в катетере. Газ, поступающий через катетер (Q_{in}), является определяющим фактором газообмена и снижения концентрации CO₂ в МПан. Поток газа через катетер должен быть достаточным для достижения эффективного газообмена и снижения рСО₂ в МПан в мертвом пространстве, объем которого составляет примерно 100 мл. Его значение зависит от дыхательного объема (V_t), частоты дыхания (f), времени выдоха (T_e), эффективности спонтанной вентиляции и временной константы легких ($TAU_e = R \times C$).

Известно, что время потока газа при выдохе снижается в геометрической прогрессии и зависит от временной константы органов дыхания (Tau). Полный выдох достигается за три временные константы ($T_e = 3 \times Tau$). 95% объема газа выдыхается за первую из трех временных констант. На другие временные константы приходится лишь оставшиеся 5% газа, выдыхаемого из легких. Если мы рассчитываем снизить CO₂ в пять — десять раз по сравнению с первоначальной концентрацией, поток подаваемого газа должен быть как минимум в 1,2–2 раза больше среднего объема газа, выхо-

effort from the patient. There will be significant decrease in ventilatory work and increase in alveolar ventilation (VA) [8, 9] (fig. 2).

Catheter gas flow. Gas flowing through the catheter (Q_{in}) is a determining factor for gas exchange and for lowering CO₂ concentration in $VDaw$. In order to achieve effective gas exchange and lowering pCO₂ in $VDaw$, there should be enough gas flow through a catheter in a 100 ml dead space. Its value is dependent on tidal volume (V_t), respiratory frequency (f), expiratory time (T_e), effectivity of spontaneous ventilation and on time constant of lungs ($TAU_e = R \times C$).

Theory of artificial lung ventilation dictates that time of gas flow in expirium is exponentially degressive and is dependent on time constant of respiratory organs (Tau). Complete expirium is achieved in three-time constants ($T_e = 3 \times Tau$). 95% of gas volume is expired during the first three-time constants. Another three-time constants are responsible for only remaining 5% of gas exhaled from lungs. If we expect CO₂ to drop five to ten times its original concentration, gas flow has to be at least 1.2–2 times of average volume of gas leaving the lungs in one time constant (T_e) [10].

For a 80 kg male with spontaneous ventilation parameters of: $V_t = 0.4–0.6$ l, $f = 12–30$ breaths/min, T_e of 1.0–2.5 sec, Q_{in} has to be 20–27 liters/min in order to wash CO₂ adequately from dead space. In this way, we can remove negative impact of dead space ventilation without the need to adjust ventilation parameters by any other means (change in frequency and volume) [9].

Risks when using continuous flow ventilation support (CFVS). One of the main risks when using CFVS with catheter positioned below the glottis is barotrauma. With acute obstruction of upper airways (e.g. laryngospasm, cough, etc.), insufflated gas through the catheter can cause overpressure and subsequently barotrauma. Safety precaution is to implement automatic blocking system which is turned on when gas driving pressure reaches 5–8 kPa (no more than 10 kPa) and automatically disconnects gas supply to the catheter until the pressure drops.

Other impacts of CFVS on respiratory organs. Dynamic overpressure is created when using insufflation catheter with one terminal opening. Actual results confirm that flow through such a catheter creates static energy (pressure P) as well as dynamic energy (flow Q_{in}) that is directed towards peripheral bronchi and to alveolar compartments. This created overpressure is directly proportional to gas flow, pressure at the end of catheter (opening) and to the ratio of catheter-to-trachea diameter. During expiration phase of spontaneous ventilation, dynamic positive end expiratory pressure (PEEP) is created. Positive pressure at the end of expiration is directly proportional to Q_{in} and V_t .

дящего из легких за одну временную константу (Te) [10].

Для мужчины весом 80 кг с параметрами спонтанной вентиляции: $V_t = 0,4-0,6$ л, $f = 12-30$ вдохов/мин, $T_e = 1,0-2,5$ с., Q_{in} , необходимый для адекватного вымывания CO_2 из мертвого пространства, должен составлять 20–27 литров/мин. Таким способом можно избежать негативного влияния вентиляции мертвого пространства, без необходимости корректировать параметры вентиляции какими-либо другими средствами (изменением частоты и объема) [9].

Риски при использовании непрерывной вспомогательной вентиляции легких (НВВЛ). Одним из основных рисков при использовании НВВЛ, при установке катетера ниже голосовой щели, является баротравма. В случае острой обструкции верхних дыхательных путей (например, при ларингоспазме, кашле и т. д.), инсuffляция газа через катетер может вызвать избыточное давление и, впоследствии, — баротравму. Мерой предосторожности является реализация системы автоматической блокировки, которая включается, когда давление под воздействием газа достигает 5–8 кПа (не больше 10 кПа), и автоматически отключает подачу газа в катетер до тех пор, пока давление не упадет.

Другие влияния НВВЛ на органы дыхания. При использовании инсuffляционного катетера с одним отверстием в его конце создается динамическое избыточное давление. Фактические результаты подтверждают, что поток газа через такой катетер создает статическую энергию (давление P), а также динамическую энергию (поток Q_{in}), которая направляется в периферические бронхи и альвеолы. Это создаваемое избыточное давление прямо пропорционально потоку газа, давлению в конце катетера и отношению диаметра катетера к диаметру трахеи. Во время фазы выдоха при спонтанной вентиляции, создается динамическое положительное давление конца выдоха (ПДКВ). Положительное давление конца выдоха прямо пропорционально Q_{in} и V_t .

Значение генерируемого во время вентиляции ПДКВ обычно не превышает 3–5 см H_2O . Создаваемое в трахее ПДКВ может уменьшить объем закрытия альвеол, а также стабилизирует их геометрию [9].

Цель исследования — оценка эффективности непрерывной вспомогательной вентиляции легких (НВВЛ) при развитии гиперкапнической дыхательной недостаточности у больных с ХНЗЛ, оперируемых на сердце.

Материал и методы

Гиперкапническая дыхательная недостаточность, обычно связанная с гипоксемией, часто требует интубации трахеи и искусственной вентиляции

PEEP value during tidal ventilation usually does not exceed 3–5 cm H_2O . PEEP created in trachea may decrease the closing volume (se) as well as stabilize alveoli geometry [9].

Purpose of the study. Our aim was to assess the effectivity of continuous flow ventilatory support (CFVS) in those COPD patients undergoing cardiac surgery who developed hypercapnic respiratory failure.

Materials and Methods

Hypercapnic respiratory failure, usually connected with hypoxemia, often requires intubation and mechanical lung ventilation. Non-invasive ventilation is in many cases ineffective, besides the fact that often lasts more than 12 hours and is associated with many problems. Patients with COPD undergoing cardiac surgery may often suffer from hypercapnic RF. We decided to use CFVS for cardiac surgical patients suffering from hypercapnic RF because of our previous experiences with CFVS in COPD patients with global respiratory failure. Patients in our study has not been given any sedatives, opiates or any other drugs affecting or suppressing ventilation. Using nasotracheal catheter with diameter of 5–6 mm, we introduced it with the use of Magill forceps into the trachea about 8 cm below the vocal cords. We performed topical anesthesia of oral cavity, hypopharynx, vocal cords and upper trachea using lignocaine spray or 0.5% bupivacaine. We connected the catheter to the ventilation circuit of ventilator AURA-V (Chirana Medical s.r.o SK). This ventilator is capable of delivering CFVS. We applied humid 37°C warm gas using FiO_2 of 0.30–0.35 so we could obtain SpO_2 of at least 92%. Patients were hemodynamically stable with none or very small dose of norepinephrine < 0.1 ug/kg/min). On the first day, we applied 2 ml of 0.5% Marcaine aerosol into the catheter using ultrasound nebulizer. Demographic parameters, cardiac surgery data and CFVS data are all shown in table 1.

Results and Discussion

Average time of CFVS application was 3.09 ± 0.9 days (2–4 days). Gas flow setting through the catheter is pictured on the fig. 3. First gas flow setting was 26 ± 2.3 l/min. We completed CFVS by gradually decreasing gas flow Q_{in} up to 7 ± 3 l/min.

Measured $PaCO_2$ values as a mean value derived from four consecutive measurements is given in fig. 4. Average $PaCO_2$ value before connecting the patient to CFVS was 73.2 ± 7.5 mmHg. When CFVS has been successful, $PaCO_2$ dropped to 45.7 ± 4.3 mmHg ($P < 0.01$). Drop in $PaCO_2$ was usually fast in the first 18 hours since the onset of CFVS application. We noticed significant improvement in patient cognitive function as well as rehabilitation soon after the fall in $PaCO_2$. This clinical improvement has also been attributed to improved oxygenation. Only one in 11 patients did not improve using CFVS, and thus had to be intubated and ventilated using conventional ventilation modes.

Changes in PaO_2 during CFVS are depicted in fig. 5. Average PaO_2 value before instituting CFVS

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов.
Table 1. Clinical characteristics of patients.

Patients No	Age, years	Height, cm	Weight, kg	M/F	Surgery operation	CHOPCH Gold grade	CFVS, days	Qin, l/min
1	75	168	74	M	MVR/TVR	2	3	26.8
2	64	177	91	M	AVR/ CABG	3	4	22.9
3	68	181	89	M	AVR/ MVR/TVR	3	4	24.3
4	59	156	55	F	AVR/ MVR	3	3	21.1
5	78	159	67	M	CABG	2	3	27.9
6	81	161	62	M	MVR/TVR	2	3	28.9
7	71	155	74	F	AVR/ CABG	3	4	25.4
8	69	171	84	M	AVR/CABG	2	4	24.6
9	76	157	79	F	AVR/CABG	3	1	27.1
10	71	173	75	M	AVR/ MVR/CABG	2	2	25.4
11	77	158	64	F	AVR/ MVR/TVR	3	3	27.5
Average±SD	71.73±6.53	165.09±9.25	74.0±11.38			2.55±0.52	3.09±0.92	25.62±2.3

Note. M/T/AVR — mitral/tricuspidal/aortal valve replacement; CABG — aortocoronarius bypass; Qin — gas flow during catheter.

Примечание. Для табл. 1, рис. 3–6: Patients No — номер пациентов; age, years — возраст, лет; height — рост; weight — вес; M/F — пол М/Ж; surgery operation — хирургическая операция; CHOPCH — ХОЗБЛ; CFVS, days — НВВЛ, дней; average±SD — среднее значение±стандартное отклонение; M/T/AVR — замена митрального/трехстворчатого/аортального клапана; CABG — орто-коронарное шунтирование; Qin — поток газа через катетер.

легких. Неинвазивная вентиляция во многих подобных случаях бывает неэффективной. Кроме того, она может продолжаться более 12 часов и ассоциируется с множеством проблем. Пациенты с ХНЗЛ, которым делают операцию на сердце, зачастую страдают гиперкапнической формой ДН. Использовать НВВЛ для кардиохирургических пациентов, страдающих гиперкапнической ДН, решили исходя из нашего предыдущего опыта применения НВВЛ у пациентов с ХНЗЛ в случае декомпенсированной дыхательной недостаточности. Пациентам не назначали каких-либо седативных средств, опиатов или каких-либо других препаратов, влияющих на спонтанную вентиляцию. Используя назотрахеальный катетер диаметром 5–6 мм, вводили его с помощью щипцов Магилла в трахею примерно на 8 см ниже голосовых связок. Местную анестезию ротовой полости, гипотаринкса, голосовых связок и верхней части трахеи проводили лидокаиновым спреем или 0,5% бупивакаином. Катетер подключали к вентиляционному контуру аппарата ИВЛ AURA-V (Chirana Medical s.r.o SK, Словакия), который может обеспечивать НВВЛ. Применяли влажный теплый газ температурой 37 °С, используя FiO₂ 0,30–0,35 для достижения SpO₂ не ниже 92%. Пациенты были гемодинамически стабильны без применения или с применением очень маленькой дозы норэпинефрина (<0,1 мкг/кг/мин). В первый день вводили в катетер с помощью ультразвукового небулайзера 2 мл 0,5% Маркаина в форме аэрозоля. Характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Результаты и обсуждение

Среднее время применения НВВЛ составило 3,09±0,9 дней (2–4 дня). Установочное значение потока газа через катетер показано на рис. 3. Вначале устанавливали значение потока газа — 26±2,3 л/мин. Заканчивали НВВЛ, постепенно понижая поток газа Qin до 7±3 л/мин.

Измеренные значения PaCO₂ в виде среднеарифметического, выведенного из четырех

was 59±7.5 mmHg and 99.6±4.5 mmHg just before termination of CFVS ($P<0.01$). The highest values were measured at the end of the second and on the third day of treatment with CFVS.

Average PaO₂/FiO₂ values are in tab. 2. Tab. 2 also shows improved trend of these values. The largest improvement was noticed between first and second day of treatment. This correlated well also with the clinical picture and patient improvement.

Spontaneous breathing frequency has gradually decreased from average value of 24.8±3.6 breaths/min before CFVS to 16±2 breaths/min after weaning from CFVS ($P<0.01$), fig. 6. Decrease in respiratory frequency was registered after 8 hours of CFVS and respiratory frequency has stabilized on the second day of treatment.

In the past years, there has been a trend toward replacement of complete or partial forms of mechanical ventilation in terms of their controlled modes. There are at least four main reasons to justify this replacement:

1. Spontaneous respiratory activity usually should be eliminated when using controlled modes of mechanical ventilation. With the use of supported ventilation modes, on the other hand, the function of respiratory muscles remains the driving force although the spontaneous ventilation is not sufficient. Most of new generation ventilator modes allow spontaneous ventilation and optimization of synchronicity with a spontaneous drive. These ventilation modes also require less vigorous sedation [5, 11].

2. Long period of respiratory muscles inactivity / hypoactivity of respiratory muscles leads to a certain degree of atrophy and maintaining a degree of spontaneous activity may become a protective factor [11].

3. Employment of ventilation regimes with support mode is currently routine practice in those patients, whose weaning poses a challenge [3].

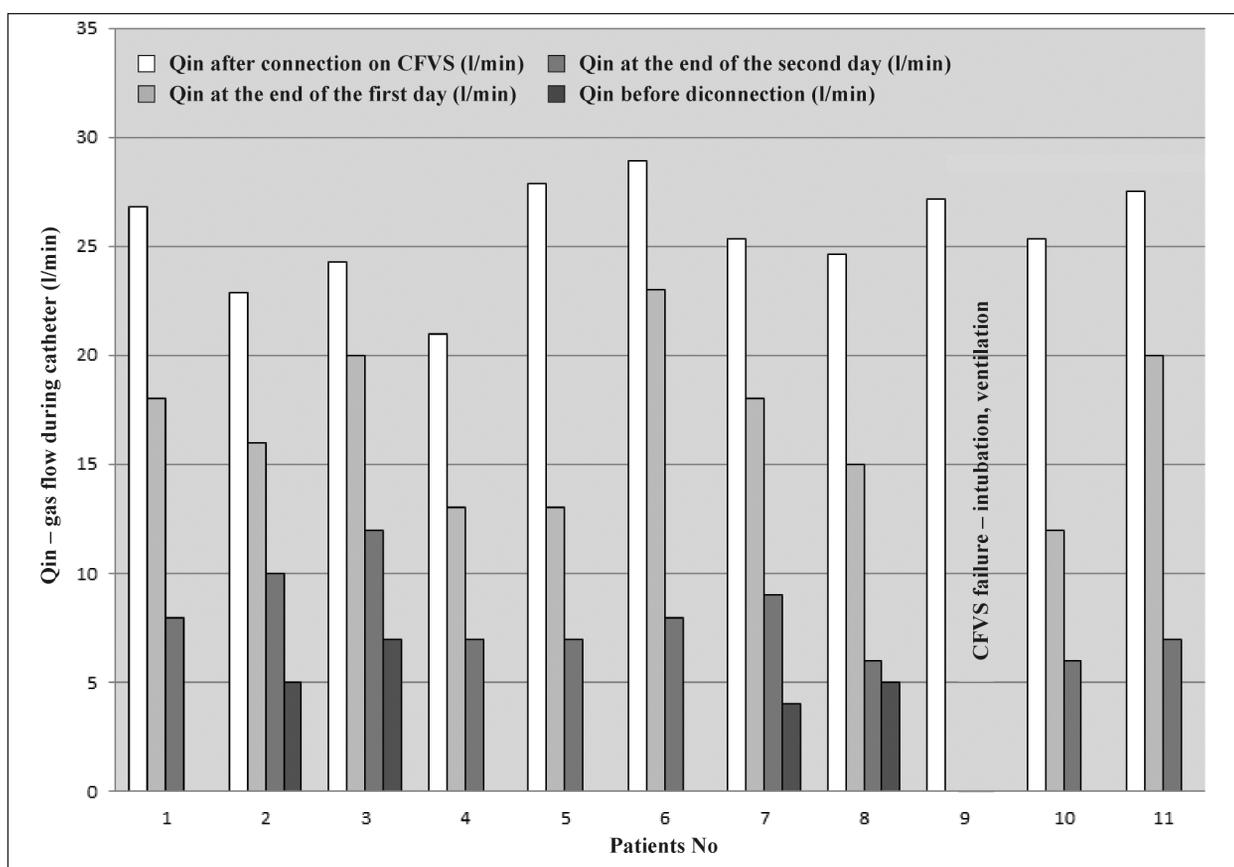


Рис. 3. Средний поток газа через назотрахеальный катетер — Q_{in} (л/мин).

Fig. 3. Average gas flow during nasotracheal catheter — Q_{in} (l/min).

Примечание. Для рис. 3–6: at the end of the first/second day — в конце первого/второго дня; CFVS failure — intubation, ventilation — безуспешность НВВЛ — интубация, ИВЛ; after connection on CFVS — после подключения к НВВЛ; before disconnection — перед отключением.

последовательных измерений, приведены на рис. 4. Среднее значение $PaCO_2$ до подключения пациенту НВВЛ составило $73,2 \pm 7,5$ мм рт. ст. В случаях, когда НВВЛ была успешной, значение $PaCO_2$ падало до $45,7 \pm 4,3$ мм рт. ст. ($p < 0,01$). Снижение $PaCO_2$ обычно было быстрым в первые 18 часов после начала применения НВВЛ. Отмечали существенное улучшение когнитивных функций пациента, а также их ускоренную реабилитацию вскоре после снижения $PaCO_2$. Это клиническое улучшение связывали с улучшением оксигенации крови. Только у одного пациента из 11 не отметили достаточного эффекта НВВЛ, поэтому ему пришлось интубировать трахею и использовать традиционные режимы ИВЛ.

Изменения $PaCO_2$ во время НВВЛ отражены на рис. 5. Среднее значение $PaCO_2$ до начала НВВЛ составило $59 \pm 7,5$ мм рт. ст., а непосредственно перед прекращением НВВЛ оно было равно $99,6 \pm 4,5$ мм рт. ст. ($p < 0,01$). Самые высокие значения $PaCO_2$ были получены в конце второго и на третий день лечения с помощью НВВЛ.

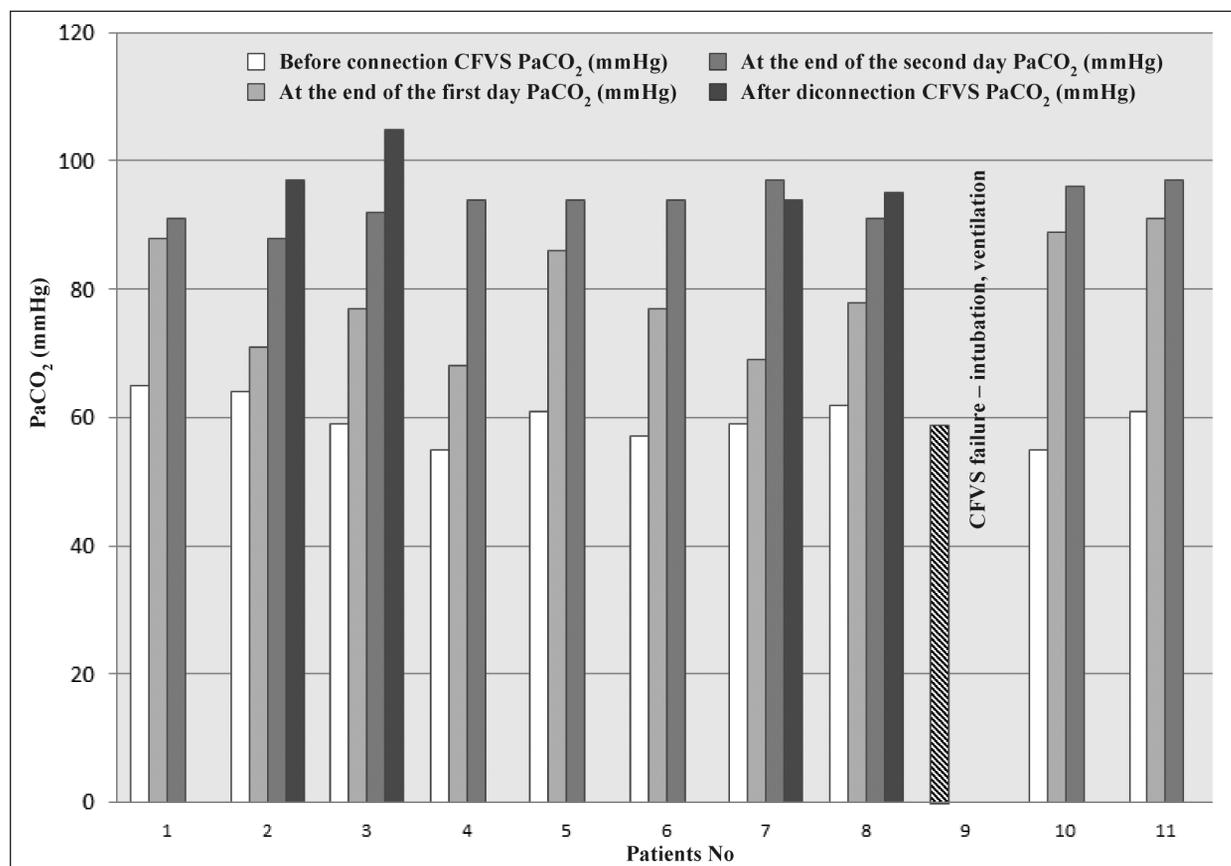
Средние значения $PaCO_2 / FiO_2$ приведены в табл. 2. Наибольший прирост величины PaO_2 / FiO_2 зафиксировали в период между пер-

4. Intensivists prefer less invasive methods of ventilatory support (e.g. HFloNV, mask ventilation) with aims to avoid intubation, ventilation, sedation as well as other adverse effects associated with controlled mechanical ventilation [3].

COPD patients undergoing cardiac surgery represent a risk group of patients, where other factors like postoperative systemic inflammatory response syndrome (SIRS), copious secretions, damage to pulmonary circulation, cardiac failure as well as inflammatory conditions of upper and lower respiratory tract can cause substantial mortality with prolonged ICU stay. Weaning of these patients from the ventilator might be difficult [6].

Patients with healthy lungs undergoing cardiac surgery present with such problems rarely. The result is that we tend to use the same ventilation weaning modes to treat healthy or previously diseased lungs affected with different etiological factors during cardiac surgery.

Use of non-invasive ventilation (NIV) for decompensated COPD was already described in literature. It is frequently used as a tool to alleviate the work of breathing and to avoid endotracheal intubation [3]. NIV is used in a form of tight face mask with the use of pressure — support (PS) mode. Even

Рис. 4. Среднее значение PaCO₂ (мм рт. ст.)Fig. 4. Average value of PaCO₂ (mm Hg).

Примечание. Для рис. 4, 5: Before connection CFVS — перед подключением к НВВЛ; after disconnection — после отключения НВВЛ.

Таблица 2. Среднее значение PaO₂/FiO₂.Table 2. Average value of PaO₂/FiO₂.

Parameters	Average of the examinations during the reference day				t-test
	1	2	3	4	
Day					
PaO ₂ /FiO ₂	171±9.9	227±24.6	267±8.3	285±12.3	P<0.01

Примечание. Parameters — параметры; average of the examinations during the reference day — среднее значение обследований в течение указанного дня.

вым и вторым днем лечения, что коррелировало с клинической картиной и улучшением состояния пациентов.

Частота спонтанного дыхания постепенно снижалась со среднего значения 24,8±3,6 вдохов/мин перед началом НВВЛ до 16±2 вдохов/мин после прекращения НВВЛ (p<0,01), рис. 6. Снижение частоты дыхания регистрировали через 8 часов после начала НВВЛ, при этом стабилизация этой величины происходила на второй день лечения.

В последние годы наметилась тенденция к снижению частоты применения полной или частичной искусственной вентиляции легких с использованием контролируемых режимов. Имеется, как минимум, 4 основные причины, обосновывающие эту тенденцию:

1. При использовании контролируемых режимов искусственной вентиляции легких обычно приходится исключать спонтанную

short-term use of NIV with face mask can have adverse effects, e.g. failure to achieve appropriate seal with face leading to patient-ventilator asynchrony, bruising of the face skin, aerophagy, vomiting, conjunctival irritation, dry mucous membranes, claustrophobia, inability to be fed by mouth, coughing, problematic suctioning etc. Effectivity of NIV can, therefore, be significantly decreased [2, 3, 11].

CFVS, on the other hand, is also associated with a few side effects like the need of introducing nasotracheal catheter by intensivists. Mechanical trauma of the upper airways is possible although not frequent. Because virtually all patients are hypercapnic, employment of any central hypnotic agents should be avoided to allow, topical anesthetics to be used only prior to administration of the catheter. In case of any rise of intrathoracic pressure (cough, laryngospasm etc.), software of the ventilator will block inflow of fresh gases, thus protecting lungs from barotrauma.

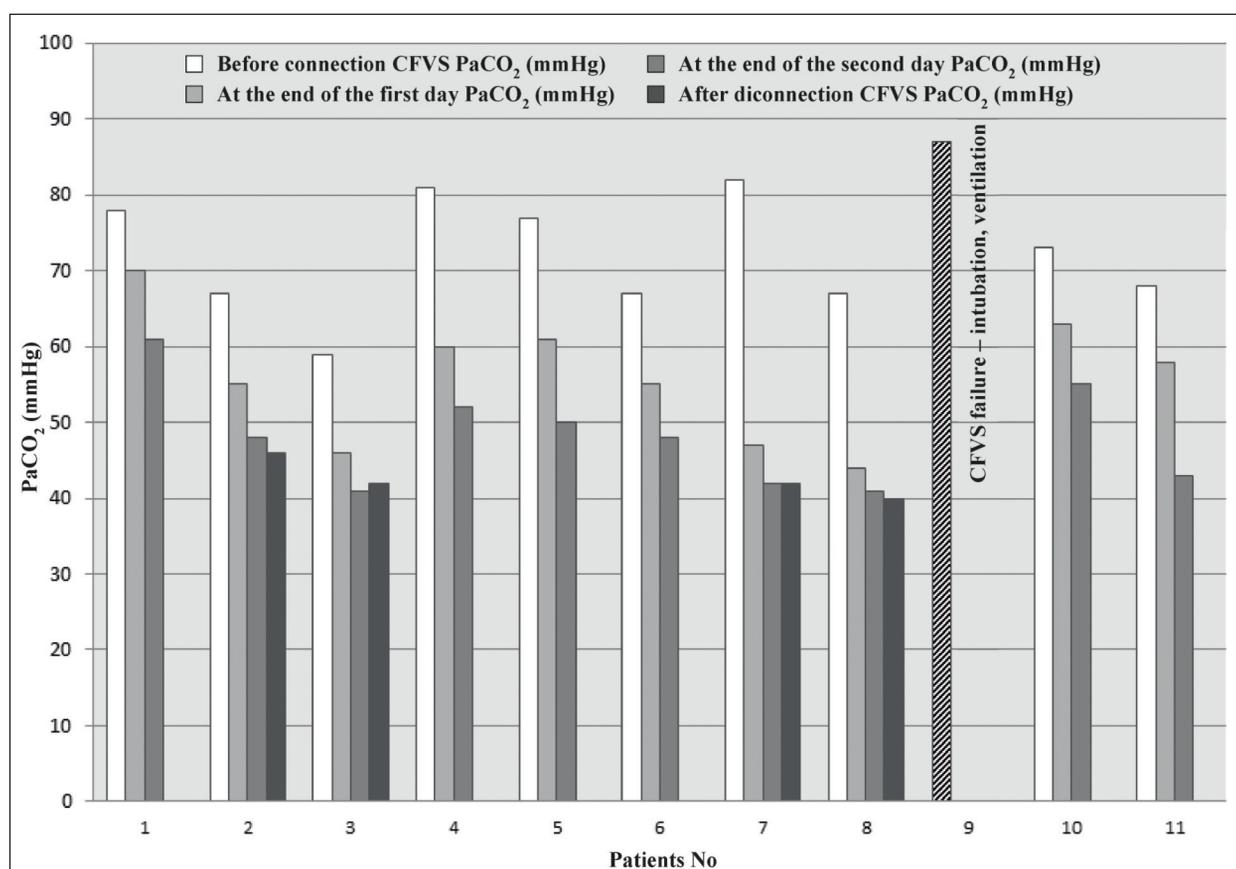


Рис. 5. Среднее значение PaCO₂ (мм рт. ст.)
Fig. 5. Average value of PaCO₂ (mm Hg)

дыхательную деятельность. С другой стороны, при использовании режимов вспомогательной вентиляции функция дыхательных мышц сохраняется, хотя спонтанная вентиляция является недостаточной. Большинство аппаратов ИВЛ нового поколения имеют режимы, допускающие спонтанную вентиляцию и позволяющие оптимизировать синхронность респиратора со спонтанным дыханием. Применение таких режимов вентиляции требует гораздо менее глубокой седации пациентов [5, 11].

2. Длительная неактивность/гипоактивность дыхательных мышц ведет к определенной степени их атрофии, и поддержание какой-либо спонтанной мышечной активности может являться защитным фактором [11].

3. Использование схем вентиляции с включением режимов вспомогательной вентиляции в настоящее время является установившейся практикой в отношении пациентов, отключение которых от вентиляции не просто [3].

4. Реаниматологи все чаще предпочитают наименее инвазивные методы вспомогательной вентиляции (например, назальная высокопоточная оксигенация, вентиляция маской), с целью избегания интубации трахеи, ИВЛ, седации, а также других нежелательных моментов, связанных с контролируемой искусственной вентиляцией легких [3].

Regarding CFVS, we did not find its use in any literature for hypercapnic respiratory failure. However, we recorded similar results with CFVS as other authors with NIV regarding improved gas exchange after 60 minutes of CFVS [12].

CFVS lacks all the disadvantages that non-invasive ventilation mode associate with using either face mask or nasal mask presented by Conti (1997). We noticed a decrease in tidal volume necessary for dead space ventilation (V_{Daw}/V_T) as a key factor for improvement when using CFVS. Decrease in breathing efforts during inspiration is also a benefit. This implies that CFVS mode may be as effective as ventilation modes operating using a different principle [8, 9].

An important factor when weaning the patient from the ventilator is the number of days on ventilator [11]. The need to continue mechanical lung ventilation commonly appears in about 10-50% of postoperative patients [6]. In our group of patients ventilated with CFVS, weaning of 1 patient out of 11 was not successful.

Conclusion

CFVS is an effective and minimally invasive mode of ventilator support that can be used in hypercapnic respiratory failure to avoid the need in intubation and conventional ALV.

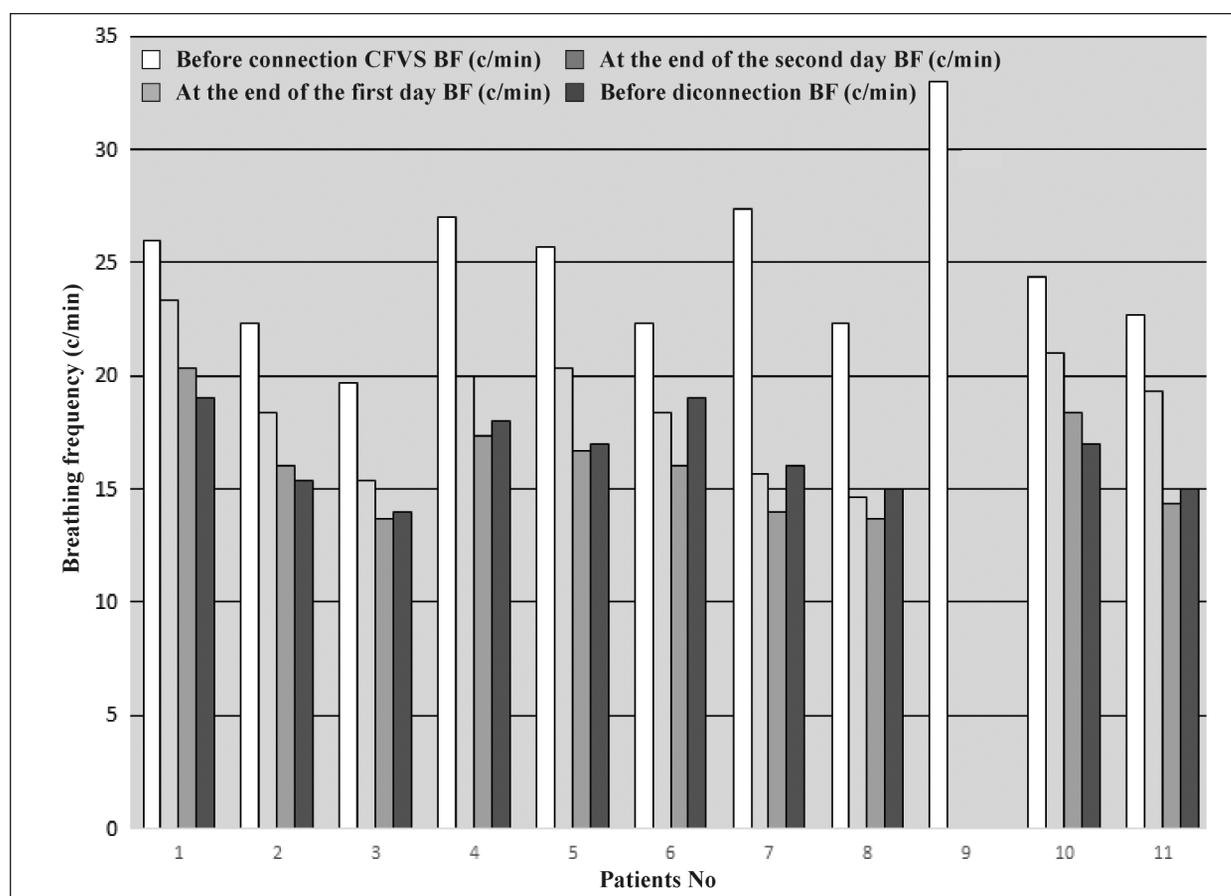


Рис. 6. Средняя частота дыхания.

Fig. 6. Average breathing frequency.

Примечание. Before connection/disconnection BF (c/min) — ЧД (вд./мин) перед подключением/отключением.

Больные с ХНЗЛ, которым выполняется операция на сердце, представляют собой пациентов группы риска. Многие сопутствующие факторы, такие как послеоперационный синдром системной воспалительной реакции (ССВР), обильные патологические потери, нарушения легочного газообмена, сердечная недостаточность, а также воспалительные заболевания верхних и нижних дыхательных путей, могут повышать летальность в случае их длительного пребывания в ОРИТ. При отключении таких пациентов от аппарата ИВЛ могут возникнуть существенные трудности [6].

У пациентов со здоровыми легкими, которым делаются операции на сердце, редко возникают подобные проблемы. В результате зачастую используются одинаковые режимы отключения от ИВЛ у больных со здоровыми или ранее поврежденными легкими, на которые дополнительно воздействуют различные этиологические факторы во время операции на сердце.

Применение неинвазивной вентиляции (НИВ) в случае декомпенсированной ХНЗЛ уже описано в литературе. Она часто используется как средство уменьшения работы дыхания, а также для избегания эндотрахе-

альной интубации [3]. НИВ используется с помощью плотной лицевой маски и применения режима поддержки давлением (ПД). Даже кратковременное использование НИВ может иметь нежелательные эффекты, например, неадекватное прилегание лицевой маски к лицу, ведущее к асинхронности спонтанного дыхания и вентиляции, повреждения кожи лица, аэрофагия, рвота, раздражение конъюнктивы, сухость слизистых, клаустрофобия, невозможность кормления через рот, кашель, проблемы с санацией и т. д. Тем самым, эффективность НИВ может существенно снизиться [2, 3, 11].

НВВЛ, с другой стороны, также ассоциируется с несколькими побочными эффектами, например, необходимостью введения назотрахеального катетера. Возможна также механическая травма верхних дыхательных путей, хотя это случается нечасто. У пациентов с гиперкапнией приходится избегать любых центральных снотворных средств и использовать перед введением катетера только местные анестетики. В случае какого-либо повышения интраторакального давления (кашель, ларингоспазм и т. д.), программное обеспечение

аппарата блокирует подачу свежего газа, тем самым защищая легкие от баротравмы.

Мы не нашли в литературе упоминаний о применении НВВЛ при гиперкапнической дыхательной недостаточности. Однако результаты применения НВВЛ — улучшение газообмена после начала НВВЛ, оказались схожими с результатами, полученными другими авторами при использовании НИВ [12].

НВВЛ не имеет всех тех недостатков режима неинвазивной вентиляции с использованием как лицевой, так и носовой маски, которые были представлены Conti (1997). Снижение дыхательного объема, необходимое для вентиляции мертвого пространства (МПан/ДО), считаем ключевым фактором улучшения газообмена при использовании НВВЛ. Уменьшение работы дыхания во время вдоха также является ее преимуществом. Это подразумевает, что режим НВВЛ может быть так же

эффективен, как и режимы вентиляции, работающие на другом принципе [8, 9].

Важным фактором при отключении пациента от ИВЛ, является число ИВЛ-дней [11]. Необходимость продолжения механической вентиляции легких возникает примерно у 10–50% послеоперационных пациентов [6]. В нашем исследовании, среди пациентов, которые получали НВВЛ, проблемы с отключением от респиратора возникли только у 1 пациента из 11.

Заключение

НВВЛ является эффективным и минимально инвазивным режимом вспомогательной вентиляции легких, который может применяться при развитии гиперкапнической дыхательной недостаточности для избегания необходимости интубации трахеи и проведения традиционной ИВЛ.

Литература

1. Beňacká R. Patofyziológia. 2010 – CD Proceedings of scientific and professional works ISBN 978-80-7097-827-6
2. Soler-Cataluña J.J., Martínez-García M.A., Román Sánchez P., Salcedo E., Navarro M., Ochando R. Severe Acute Exacerbations and Mortality in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Thorax*. 2005; 60: 925–931. PMID: 16055622, PMCID: PMC1747235, DOI: 10.1136/thx.2005.040527
3. Bauman K.A. Noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. UpToDate. Accessed May 23, Available from: [online]. <http://www.uptodate.com/contents/noninvasive-positive-pressure-ventilation-in-acute-respiratory-failure-in-adults>. 2014.
4. Feller-Kopman D, Stoller J, Finley G. Use of Oxygen in Patients with Hypercapnia [online]. UpToDate. 2007. Available from: online. /http://of-oxygen-in-patients—with-hypercapnia>. Accessed May 25, 2014.
5. Ballen G. Invasive Mechanical Ventilation in Acute Respiratory Failure Complicating Chronic Obstructive Pulmonary Disease [online]. UpToDate. 2012. Available from: http://www.uptodate.com/contents/invasive-mechanical-ventilation-in-acute-respiratory-failure-complicating-chronic-obstructive-pulmonary-disease> Accessed May 25, 2014.
6. Wakatsuki D, Sadler D. Invasive Mechanical Ventilation in Acute Exacerbation of ХНЗЛ: Prognostic Indicators to Support Clinical Decision Making. *JICS*. 2012; 13 (3): 239.
7. Török P., Depta E., Donič V., Nosál M., Imrecze Š., Beňová J., Galková K., Paulíková M., Berešik M., Jankajová M., Paulíny M. Объемная карнография как способ оценки эффективности альвеолярной вентиляции в клинической практике. *Общая реаниматология*. 2018; 14 (5): 16–24. DOI: :10.15360/1813-9779-2018-5-16-24
8. Török P., Čandík P., Šalantay J., Májek M., Kolník J. Вентиляционная поддержка непрерывным потоком (VPKP) (клинический опыт). *Общая реаниматология*. 2006; 2(4): 67–75. DOI: 10.15360/1813-9779-2006-4-67-75
9. Török P., Čandík P., Šalantay J., Májek M., Kolník J. Вентиляционная поддержка непрерывным потоком. Физические, математические и клинические предпосылки и принципы. *Общая реаниматология*. 2006; 2(4): 13–21. DOI: 10.15360/1813-9779-2006-4-13-21
10. Čandík P., Rybár D., Depta E., Sabol E., Kolesár A., Galková K., Török P., Doničová V., Imrecze Š., Nosál M., Donič V. Relationship Between Dynamic Expiratory Time Constant τ_{dyn} and Parameters of Breathing Cycle in Pressure Support Ventilation Mode. *Physiol. Res*. 2018; 67; (6): 875–879.
11. Lellouche F, Mancebo J, Jolliet J, Roeseler J, Schortgen F, Dojat M, Cabello B, Bouadma L, Rodriguez P, Maggiore S, Reynaert M, Mersmann S, Brochard L. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2006 Oct; 174 (8): 894–900. PMID:16840741, PMCID:PMC4788698, DOI:10.1164/rccm.200511-17800C
12. Nickol A., Hart N, Hopkinson N., Hamnegård C.H., Moxham J., Simmonds A., Polkey M. Mechanisms of improvement of respiratory failure in patients with COPD treated with NIV Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. 2008; 3(3): 453–462. Published online 2008. PMCID: PMC2629992

Поступила 26.05.19

References

1. Beňacká R. Patofyziológia. 2010 – CD Proceedings of scientific and professional works ISBN 978-80-7097-827-6
2. Soler-Cataluña J.J., Martínez-García M.A., Román Sánchez P., Salcedo E., Navarro M., Ochando R. Severe Acute Exacerbations and Mortality in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Thorax*. 2005; 60: 925–931. PMID: 16055622, PMCID: PMC1747235, DOI: 10.1136/thx.2005.040527
3. Bauman K.A. Noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. UpToDate. Accessed May 23, Available from: [online]. <http://www.uptodate.com/contents/noninvasive-positive-pressure-ventilation-in-acute-respiratory-failure-in-adults>. 2014.
4. Feller-Kopman D, Stoller J, Finley G. Use of Oxygen in Patients with Hypercapnia [online]. UpToDate. 2007. Available from: online. /http://of-oxygen-in-patients—with-hypercapnia>. Accessed May 25, 2014.
5. Ballen G. Invasive Mechanical Ventilation in Acute Respiratory Failure Complicating Chronic Obstructive Pulmonary Disease [online]. UpToDate. 2012. Available from: http://www.uptodate.com/contents/invasive-mechanical-ventilation-in-acute-respiratory-failure-complicating-chronic-obstructive-pulmonary-disease> Accessed May 25, 2014.
6. Wakatsuki D, Sadler D. Invasive Mechanical Ventilation in Acute Exacerbation of ХНЗЛ: Prognostic Indicators to Support Clinical Decision Making. *JICS*. 2012; 13 (3): 239.
7. Török P., Depta E., Donič V., Nosál M., Imrecze Š., Beňová J., Galková K., Paulíková M., Berešik M., Jankajová M., Paulíny M. Volumetric capnography as a tool for evaluation of alveolar ventilation effectivity in clinical practice. *Obschaya reanimatologia=General reanimatology*, 2018; 14 (5): 16–24 [In Russ.]. DOI: :10.15360/1813-9779-2018-5-16-24
8. Török P., Čandík P., Šalantay J., Májek M., Kolník J. Ventilation support using continuous flow (VPKP). *Obschaya reanimatologia=General reanimatology* 2006; 2 (4): 67–75 [In Russ.]. DOI: 10.15360/1813-9779-2006-4-67-75
9. Török P., Čandík P., Šalantay J., Májek M., Kolník J. Ventilation support using continuous flow (physical and mathematical principles). *Obschaya reanimatologia=General reanimatology* 2006; 2(4): 13–21 [In Russ.]. DOI: 10.15360/1813-9779-2006-4-13-21
10. Čandík P., Rybár D., Depta E., Sabol E., Kolesár A., Galková K., Török P., Doničová V., Imrecze Š., Nosál M., Donič V. Relationship Between Dynamic Expiratory Time Constant τ_{dyn} and Parameters of Breathing Cycle in Pressure Support Ventilation Mode. *Physiol. Res*. 2018; 67; (6): 875–879.
11. Lellouche F, Mancebo J, Jolliet J, Roeseler J, Schortgen F, Dojat M, Cabello B, Bouadma L, Rodriguez P, Maggiore S, Reynaert M, Mersmann S, Brochard L. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2006 Oct; 174 (8): 894–900. PMID:16840741, PMCID:PMC4788698, DOI:10.1164/rccm.200511-17800C
12. Nickol A., Hart N, Hopkinson N., Hamnegård C.H., Moxham J., Simmonds A., Polkey M. Mechanisms of improvement of respiratory failure in patients with COPD treated with NIV Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. 2008; 3(3): 453–462. Published online 2008. PMCID: PMC2629992

Received 26.05.19