

## ТРЕХУРОВНЕВАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ, ПЕРВЫЙ КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ

P. Török, M. Májek\*, J. Šalantay, P. Čandík, E. Drbjáková,  
S. Saladiak, J. Göryová, J. Popa'ák, I. Lakatoš

Отделение анестезиологии и интенсивной медицины, Больница Вранов на Топле;

\* Клиника анестезиологии и интенсивной медицины академика Дерера,  
Словацкого Медицинского Университета, Братислава (Словакия)

### 3 Level Ventilation: the First Clinical Experience

P. Török, M. Májek\*, J. Šalantay, P. Čandík, E. Drbjáková,  
S. Saladiak, J. Göryová, J. Popa'ák, I. Lakatoš

Department of Anesthesiology and Intensive Medicine, Hospital, Vranov-on-Tople

\* Academician Derer Clinical of Anesthesiology and Intensive Medicine, Slovak Medical University, Bratislava (Slovakia)

Исходя из проблематики искусственной вентиляции легких (ИВЛ) при негетерогенных патологических процессах в легких (ОПЛ, ОРДС, пневмония и др.) применили трехуровневую ИВЛ. Трехуровневую вентиляцию определили как способ (модификацию) ИВЛ, при которой основной уровень вентиляции представлен режимом вентиляции CMV, PCV, или PS (ASB), а надстройку, так называемую «вентиляцию на фоне» создают два уровня PEEP: PEEP (постоянный) и PEEP<sub>h</sub> (PEEP high) с изменяемой частотой и продолжительностью (чередованием) перехода между их отдельными уровнями. Цель работы – выяснить можно ли посредством трехуровневой ИВЛ при выраженной неравномерности распределения газов в тяжело поврежденных легких улучшить доставку газов в так называемые «медленные» бронхоальвеолярные компартменты при уменьшении объемной нагрузки так называемых «быстрых» компартментов и улучшить обмен газов в легких, сохраняя при этом правила «безопасной ИВЛ». Результаты. У 12 больных с тяжелым негетерогенным повреждением легких (атипичная пневмония и ARDS/ALI) и малоэффективной вентиляцией в режиме PCV, после «маневра открытия» ( $\text{PaO}_2(\text{kPa})/\text{FiO}_2=5-6$ ), применили трехуровневую вентиляцию легких (3LV). После начала 3LV с частотой  $f_{PCV}=26\pm 4$  вдохов/мин и PEEP<sub>h</sub> с частотой  $f_{PEEP_h}=7\pm 2$  вдохов/мин с минутной вентиляцией  $MV=12\pm 4$  л/мин в течение 1–4 часов произошли отчетливые положительные изменения обмена газов в легких. В процессе использования 3LV произошло уменьшение фракции внутрилегочного шунта с  $50\pm 5\%$  до  $30\pm 5\%$ , повысилась элиминация  $\text{CO}_2$  с падением  $\text{PaCO}_2$  до значений ниже  $6\pm 0,3$  кПа и увеличилось  $\text{PaO}_2$  до значений  $7,5\pm 1,2$  кПа, при понижении  $\text{FiO}_2$  до  $0,8-0,4$ . В улучшение обмена газов внес также вклад «маневр открытия» легких: под влиянием  $\text{PEEP}=1,2\pm 0,4$  кПа статическая торакопультмональная податливость ( $C_{st}$ ) повысилась с  $0,18\pm 0,02$  л/кПа до  $0,3\pm 0,02$  л/кПа, а затем – до  $0,38\pm 0,05$  л/кПа. Соппротивление дыхательных путей ( $R_{aw}$ ) уменьшилось более, чем на 30%. Улучшение аэрации легких оценивается как проявление доставки газов в области с более продолжительной постоянной времени. После  $5\pm 1$  дней использования 3LV больных перевели в режим вентиляции PS, после постепенного уменьшения вентиляционной поддержки они были отключены от вентилятора и переведены в профильное отделение. Заключение. Несмотря на то, что из-за небольшого числа обследованных больных статистическая оценка результатов не проведена, клинические результаты, по крайней мере, не противоречат результатам теоретической математической симуляции 3LV в математической и физической модели. 3LV в сравнении с PCV, применяемой в течение первых 2–4 часов ИВЛ, улучшила обмен газов в легких. Она может быть многообещающим способом вентиляции легких, пораженных диффузионным негетерогенным патологическим процессом. Ключевые слова: ИВЛ, трехуровневая ИВЛ, ОРДС, ОПЛ.

Considering the issues of artificial ventilation (AV) in non-homogenous pathological lung processes (acute lung injury (ALI), acute respiratory distress syndrome (ARDS), pneumonia, etc.), the authors applied the three-level lung ventilation to a group of 12 patients with non-homogenous lung injury. Three-level ventilation was defined as a type (modification) of AV whose basic ventilation level was produced by the modes CMV, PCV or PS (ASB) and add-on level, the so-called background ventilation was generated by two levels of PEEP. PEEP (constant) and PEEP<sub>h</sub> (PEEP high) with varying frequency and duration of transition between the individual levels of PEEP. Objective: to elucidate whether in cases of considerably non-homogenous gas distribution in acute pathological disorders, three-level ventilation (3LV) can correct gas distribution into the so-called slow bronchoalveolar compartments, by decreasing the volume load of the so-called fast compartments and to improve lung gas exchange, by following the principles of safe ventilation. Results. 3LV was applied to 12 patients with severe non-homogenous lung injury/disorder (atypic pneumonia and ARDS/ALI) and low-success PCV ventilation after recruitment manoeuvre ( $\text{PaO}_2(\text{kPa})/\text{FiO}_2 = 5-6$ ). There were pronounced positive changes in pulmonary gas exchange within 1–4 hours after initiation of 3LV at a  $f_{PCV}$  of  $26\pm 4$  breaths/min<sup>-1</sup> and PEEP<sub>h</sub> at a  $f_{PEEP_h}$  of  $7\pm 2$  breaths/min<sup>-1</sup> with a minute ventilation of  $12\pm 4$  l/min. 3LV reduced a intrapulmonary shunt fraction  $50\pm 5$  to  $30\pm 5\%$ , increased  $\text{CO}_2$  elimination, with  $\text{PaCO}_2$  falling to the values below  $6\pm 0.3$  kPa, and  $\text{PaO}_2$  to  $7.5\pm 1.2$  kPa, with  $\text{FiO}_2$  being decreased to  $0.8-0.4$ . Lung recruitment also improved gas exchange: with  $\text{PEEP}=1.2\pm 0.4$  kPa, static thoracopulmonary compliance ( $C_{st}$ ) elevated from  $0.18\pm 0.02$  l/kPa to  $0.3\pm 0.02$  l/kPa and then to  $0.38\pm 0.05$  l/kPa. Airways

resistance ( $R_{aw}$ ) decreased by more than 30%. Improved lung aeration was also estimated as a manifestation of gas distribution with a long time constant. After  $5 \pm 1$ -day 3LV, the patients were switched to PS ventilation; after gradually reduction of ventilation maintenance, they were disconnected from a ventilator and transferred to a specialized unit. **Conclusion.** The small study group made it impossible to statistically assess outcomes; the clinical results are not at least contrary to the results of theoretical mathematic simulation of 3LV in mathematical and physical models. 3LV as compared with PCV applied within the first 2–4 hours of AV improved lung gas exchange. It can be a promising mode of ventilation for the lungs afflicted by a diffusive non-homogenous pathological process. **Key words:** artificial ventilation, three-level ventilation, acute lung injury, acute respiratory distress syndrome.

После математического и физического моделирования многоуровневой искусственной вентиляции легких (MLV — multivel ventilation) алгоритм трехуровневой вентиляции (3LV) был введен в сервоventилятор Chirolog SV Alfa+C (Chirana), и после технических испытаний в соответствии со стандартами EN STN, концепция 3LV была подготовлена для клинического применения [1].

Трехуровневую вентиляцию можно определить как режим искусственной вентиляции легких (ИВЛ) на трех программируемых уровнях давления (РЕЕР, РЕЕРh, Ppc или Pps) [1, 2], причем сменой уровней давлений в дыхательных путях и продолжительностью их поддержания управляет программное обеспечение респиратора. Параметры режима 3LV могут программироваться для поддержания самостоятельных дыхательных усилий больного.

## Материалы и методы

После первого опыта применения алгоритма трехуровневой вентиляции у пациентов с интактными легкими, мы применили 3LV у 12-и больных с выраженной неравномерностью вентиляции при тяжелом двухстороннем повреждении легких. У всех больных на рентгенограммах выявлялись сливные, более или менее гомогенные тени в нижних 2/3 — 3/4 обоих легочных полей, и типичная КТ-картина опеченения (7 больных), а так-

же клиника тяжелой дыхательной недостаточности, требующей немедленного применения ИВЛ. У двух пациентов имела место атипичная пневмония, у 4-х — массивный отёк легких, связанный с гипостатической пневмонией, у 6-и пациентов — ALI/ARDS после политравмы и травматического шока.

Наблюдали 12 пациентов, средний возраст которых составил  $59 \pm 8$  лет, а средняя масса тела —  $88,9 \pm 12,0$  кг. У 6-и мужчин поставлен диагноз ОПЛ/ОРДС, у 2-х женщин — атипичская двусторонняя пневмония и у 2-х женщин — отек легких с двусторонней пневмонией.

Семь пациентов были уже госпитализированы в отделение анестезиологии и интенсивной терапии и интубированы, а у остальных сразу после их поступления возникла необходимость интубации и начала ИВЛ.

У всех пациентов в течение первых 48–72 часов проводили седацию (GCS 5–6) посредством непрерывного введения мидазолама (Torrex) в дозе  $0,025–0,085$  mg.kg<sup>-1</sup>.час<sup>-1</sup> и фентанила (Torrex) в дозе  $0,3–0,75$  ug.kg<sup>-1</sup>.час<sup>-1</sup> и ИВЛ респиратором Chirolog SV alfa+C (Chirana) в режиме PCV. Параметры вентиляции подбирали, ориентируясь на критерии «безопасной ИВЛ» ( $VT < 6,5$  ml.kg<sup>-1</sup>,  $f > 18$  d.min<sup>-1</sup>, РЕЕР  $0,08–0,1$  kPa /10 kg веса,  $Ti\% = 40$ ).  $FiO_2$  повышали до 1,0 при величине  $PaO_2 < 5–6$  kPa,  $PaO_2/FiO_2 = 5–6$  (для  $PaO_2$  в kPa). Рекомендуемые максимальные давления в дыхательных путях  $Paw$  (3–3,5 kPa) соблюдать удавалось не всегда.

В течение первых часов пытались провести маневр открытия лёгких, что всегда проблематично у больных с пневмонией. Путем увеличения РЕЕР с непрерывным мониторингом значений статической податливости легких Cst, кривых Cst и V/P петли и также  $ETCO_2$ , или продукции  $CO_2$  ( $VECO_2$ ) мы пытались максимально увеличить торакопульмональную податливость и улучшить диффузионную способность альвеолокапиллярного барьера. Отрицательное влияние на гемодинамику не позволило увеличить РЕЕР выше  $1,2 \pm 0,4$  kPa. После 2–4-х часов ИВЛ в режиме PCV из-за неустранённых проблем с оксигенацией и элиминацией  $CO_2$  (при  $FiO_2 = 1,0$ ) применяли вентиляционный режим 3LV.

Параметры 3LV подбирали, ориентируясь на значения математического моделирования, при котором оценивалась динамическая экспираторная постоянная времени ( $\tau_{edyn}$ ), величина которой постоянно отображалась респиратором [3]. Графическая форма результатов математического моделирования мониторировалась в виде рекомендаций (рис. 1).

Значение частоты вентиляции в цикле PCV установили на  $f_{pcv} = 26 \pm 4$  d.min<sup>-1</sup>, значение частоты чередования РЕЕРh (РЕЕР high):  $f_{perh} = 7 \pm 2$  d.min<sup>-1</sup>, с чередованием давлений РЕЕР:РЕЕРh=1:1. Давления Ppc и РЕЕРh установили на уровне, необходимом для достаточного газообмена, т.е. для сохранения установленной минутной вентиляции. Контролируемое давление вдоха (Pressure of pressure control, Ppc) =  $1,6 \pm 0,9$  kPa, и РЕЕРh =  $0,9 \pm 0,3$  kPa. Соотношение времени вдоха к выдоху в циклах PCV было установлено:  $Ti:Te = 1:1,5$ . ( $Ti\% = 40$ ).

Формы кривых давления и потока, отображавшиеся на дисплее респиратора, приведены на рис. 2.

У всех больных катетеризировали центральную вену. Проводили мониторинг центрального венозного давления ЭКГ,  $SpO_2$ ,  $ETCO_2$ ,  $VECO_2$ , ТК, частоты пульса, температуры, диуреза, механических параметров легких, постоянной времени ( $\tau_{edyn}$ ), статической податливости (Cst), сопротивления дыхательных пу-

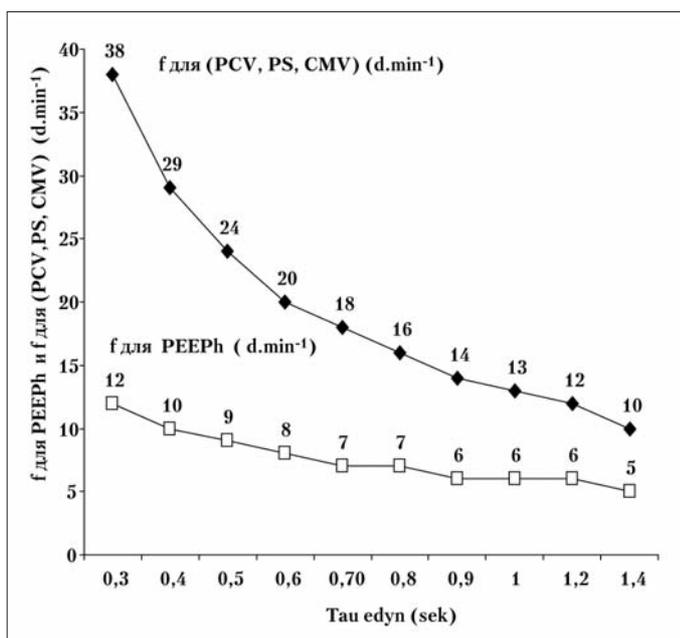


Рис. 1. Математическая модель моделированной — рекомендуемой настройки частот вентиляции в циклах PCV и в циклах РЕЕРh в зависимости от измеренного значения экспираторной постоянной времени ( $\tau_{edyn}$ ) на оси «X».

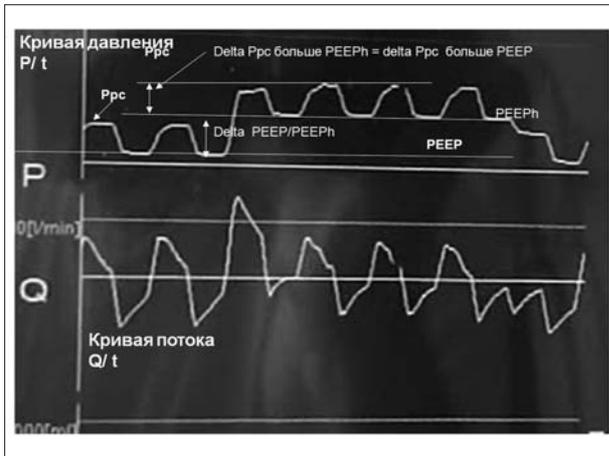


Рис. 2. Изображение кривой давления и кривой потока — фотография экрана вентилятора, стрелками изображены значения отдельных настраиваемых параметров.



Рис. 4. Компьютерная топография лёгких до подключения ИВЛ.



Рис. 3. Рентгенография грудной клетки до подключения ИВЛ.



Рис. 5. Рентгенография грудной клетки после подключения ИВЛ.

тей (Raw), параметров ИВЛ и газов крови. Фармакотерапию и терапию АТВ проводили в соответствии с основным заболеванием. Катехоламины для инотропной поддержки (добутамин) мы применяли в 9 случаях, во время первых  $48 \pm 10$  часов лечения, в дозе  $4,1 \pm 1,5 \text{ ug.kg}^{-1} \cdot \text{час}^{-1}$ , с таким расчётом, чтобы сохранить среднее артериальное давление выше 75–80 мм рт. ст.

Результаты не подвергались статистической оценке, так как это лишь первый опыт применения вентиляционного режима 3LV у небольшой группы пациентов. Средние значения оцениваемых величин приведены в графиках.

Типичная рентгенографическая и КТ-картина перед началом подключения к ИВЛ изображены на рис. 3 и 4, после подключения к ИВЛ — рис. 5.

### Результаты и обсуждение

ИВЛ в режиме 3LV проводили в течение  $5 \pm 1$  суток, и постепенно, после улучшения клинического состояния, рентгенографической картины, лабораторных параметров и уменьшения седации переходили на режим pressure support (PS) вплоть до момента отключения пациента от респиратора. Общая продолжительность ИВЛ составляла 6–

10 суток. Все пациенты были успешно отключены от респиратора и переведены в профильное отделение.

Величины, которые мы считаем наиболее значимыми, мониторировали и они приведены на графиках. Они характеризуют 5 суток вентиляции в режиме 3LV до перехода в режим pressure support, когда состояние пациентов стабилизировали и они были подготовлены для отключения от ИВЛ.

В начале ИВЛ имело место повышение значений легочного шунта ( $Q_s/Q_t$ ) до уровня около  $50 \pm 5\%$ , затем в течение 6 часов отмечалось снижение этого показателя до  $35 \pm 5\%$  и по прошествии следующих 6–12 часов до уровня менее 30%, что мы считали хорошим результатом.

Мониторируемые давления, применяемые в контуре вентилятора изображены на рис. 6.

На рисунке 6 видно, что если в начале ИВЛ применяли относительно высокие пиковые давления (Raw около 4 кПа) для достижения должного уровня газообмена, то после нескольких часов 3LV удавалось существенно снизить давление до уровня около 3,5 кПа и ниже.

Значения показателей газообмена, рН и необходимой  $FiO_2$  в дыхательной смеси для надлежащей оксигенации с  $PaO_2 > 7$  kPa, приведены на рисунке 7.

Уже после 2 часов 3LV отмечали выраженное улучшение параметров газообмена и спустя примерно 4–6 часов появилась возможность постепенно снизить  $FiO_2$  до 0,8–0,4, что мы считаем существенным с учётом рисков ИВЛ с высоким  $FiO_2$ .

Характеристика функций жизнеобеспечения отображена на рисунке 8. После выраженного снижения артериального давления при выполнении первичного «маневра открытия», произошла его стабилизация, вероятно благодаря восполнению ОЦК и применению катехоламинов.

Динамика параметров вентиляции и изменения биомеханики легких изображены на рисунке 9.

Из приведенных данных видно, что одной из основных проблем являлась очень низкая податливость легких, которая начала увеличиваться после первой фазы «рекрутмента» и в дальнейшем, постепенно, в течение 4–12 часов, когда произошло уменьшение сопротивления дыхательных путей ( $Raw$ ). Несмотря на очень низкую  $Cst$  и относительно высокое сопротивление  $Raw$ , в процессе 3LV сравнительно быстро произошло выраженное улучшение параметров газообмена за время от нескольких десятков минут до нескольких часов после начала использования режима 3LV.

На рис. 5 приведена типичная рентгенограмма больного после подключения ИВЛ.

Проблема вентиляции больных с неомогенным диффузным повреждением легких, с соблюдением принципов «безопасной ИВЛ», до сих пор не была разрешена соответствующим способом [4]. В этих случаях, ввиду неомогенности доставки газовой смеси в различные отделы лёгких, в разной степени пораженные патологическим процессом, с различными постоянными времени ( $\tau_{dyn}$ ), ИВЛ невозможно оптимизировать классическими способами [3, 5].

Применяя 3LV, можно достигнуть перераспределения или улучшения доставки газовой смеси из компартментов с короткой постоянной времени в области с большей постоянной времени при отсутствии, либо минимальном повышении минутной вентиляции. Это проявляется в

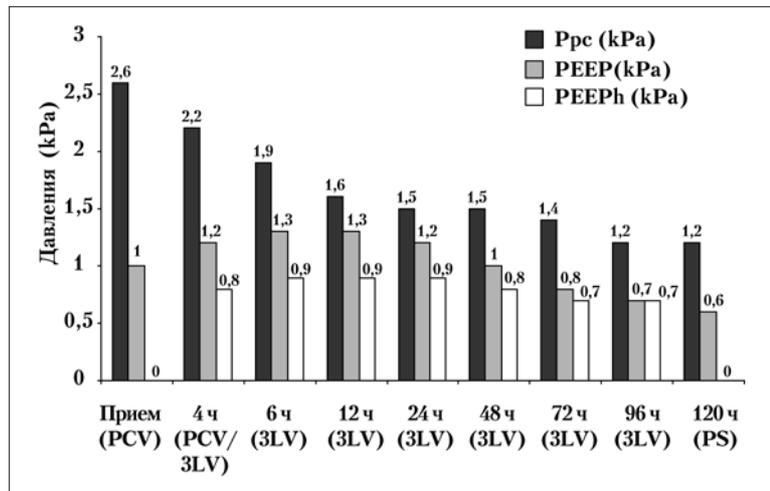


Рис. 6. На графике изображены средние значения давлений, применяемых в указанных промежутках времени во время вентиляции в режиме PCV, и также в течение 3-уровневой вентиляции ( $n=12$ ).

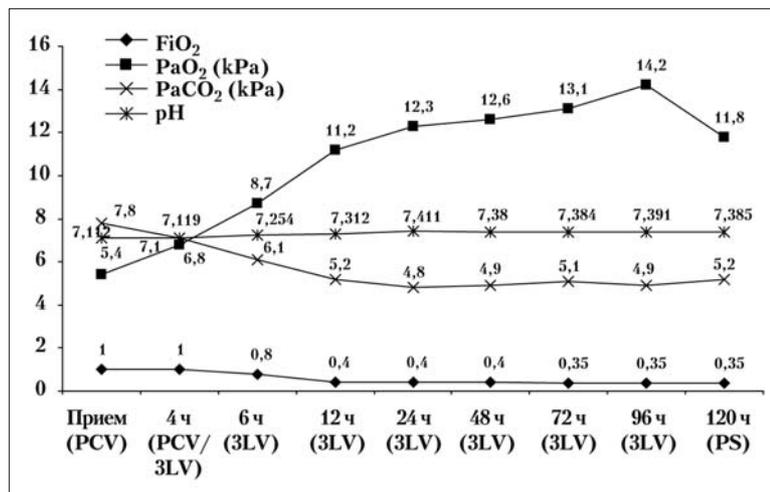


Рис. 7. На графике изображены тренды средних значений газов крови, рН и применяемой концентрации  $O_2$  в дыхательной смеси ( $n=12$ ).

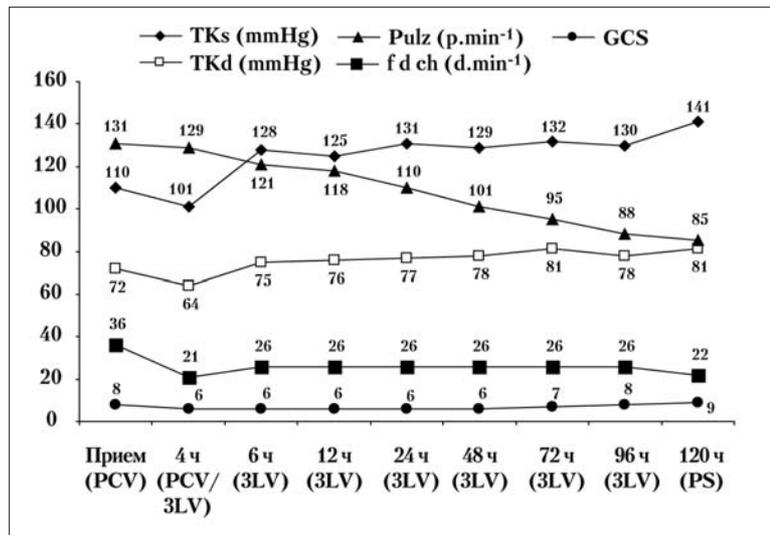


Рис. 8. На графике изображены тренды витальных функций (средние значения), и также уровень седации пациентов (GCS соотношение) ( $n=12$ ).

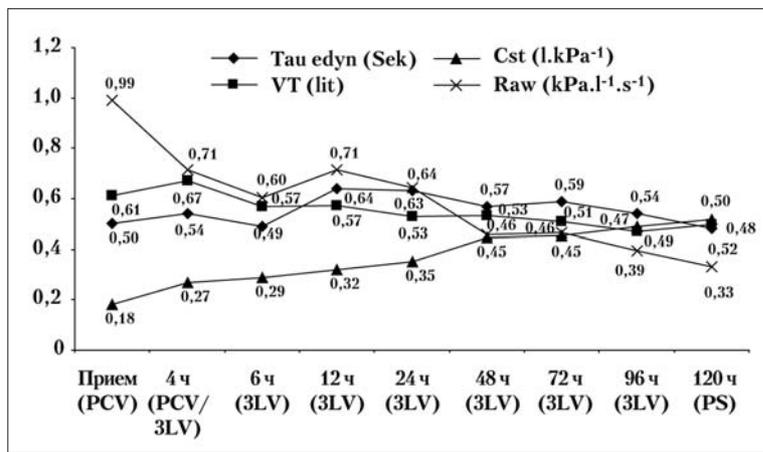


Рис. 9. На графике изображены тренды (средние значения) параметров механики легких и VT, которые показывают постепенное клиническое улучшение состояния пациентов (n=12).

виде уменьшения внутрилегочного шунта, улучшения оксигенации крови и элиминации CO<sub>2</sub> [1, 2].

Перераспределение доставки газов в области с большой постоянной времени, обычно затруднённое обструктивными факторами, улучшает аэрацию этих отделов, что не только приводит к улучшению газообмена, но и помогает поддерживать воздушность в поврежденных компартаментах легких после «рекрутмента». Положительные эффекты 3LV проявляются также в уменьшении внутрилегочного

шунта, что объясняется улучшением распределения газов [6].

### Заключение

Первый клинический опыт применения трехуровневой вентиляции (3LV) демонстрирует, и то лишь в определенной степени, возможности этого способа ИВЛ, которые мы до сих пор оценивали на теоретическом уровне. Несмотря на то, что из-за небольшого количества пациентов, мы не провели статистическую обработку измеренных параметров, их тренды по крайней мере не противоречат результатам теоретической математической симуляции 3LV в математической и физической модели. Можно считать, что

применение 3LV позволило улучшить параметры газообмена в легких, в сравнении с PCV, применявшейся в течение первых 2–4 часов ИВЛ. Таким образом, 3LV может являться перспективным способом при искусственной вентиляции лёгких, пораженных диффузионным негомогенным патологическим процессом. Очевидно, что сравнение 3LV с классическими способами ИВЛ у большего количества пациентов, накопление клинических и статистических данных, поможет подтвердить наши предварительные результаты.

### Литература

1. Török P. Теория и математическая модель многоуровневой вентиляции легких. Анестезиология и неотложная медицина (в печати).
2. Chirana, s.r.o., Стара Тура Руководство по применению сервоventилятора Chirolog SV ALFA+C; 2006.
3. Török P. Májek M., Kolník J. Je časová konštanta Tau ( $\tau$ ) pri umelej ventilácii pl'úc konštantou? Teoretický a fyzikálny model. Anesteziologie a neodkladná péče 2001; 6: 291–297.
4. Gattinoni L. Lung structure and function in different stages of severe ARDS. J. Amer. Med. Assoc. 1994; 271: 1772–1779.
5. Тепек П. Multilevel ventilation. Сб. докл. конф. Рос. академии наук. Острое поражение легких. Пештяны – Москва, 30.9–3.10.2006. 187.
6. Oczenski W. Breathing and mechanical support Vienna: Blackwell Science; 1997. 236.

Поступила 24.01.08