

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОСТАТОЧНОЙ ЕМКОСТИ ЛЕГКИХ ПРИ РЕСТРИКТИВНОЙ ПАТОЛОГИИ АППАРАТА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Е.В. Ручина, А.В. Шарнин, В.А. Мазурок, К.М. Лебединский

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия

ASSESSMENT OF LUNG FUNCTIONAL RESIDUAL CAPACITY OF PATIENTS WITH RESTRICTIVE LUNG DISEASE

E.V. Ruchina, S.A. Sharmin, V.A. Mazurok, K.M. Lebedinsky

Department of anaesthesia and intensive care named after V.L. Vanevskiy
North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russia

© Коллектив авторов, 2013

Наибольший интерес использование новой прикроватной диагностической опции – расчета функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ) – представляет у пациентов с нарушением внешнего дыхания по рестриктивному типу, приоритетным направлением респираторной терапии которых является расправление альвеол. Настоящая публикация содержит результаты сравнительной оценки динамики функциональной остаточной емкости легких у пациентов с рестриктивными нарушениями дыхания и без них во время процедуры автоматической настройки ПДКВ.

Ключевые слова: искусственная вентиляция лёгких, рестриктивная патология, функциональная остаточная ёмкость лёгких, парциальное давление кислорода в крови, комплайнс, положительное давление в конце выдоха.

Restrictive lung diseases, when the primary task of respiratory care consists of re-inflation of collapsed alveoli, seem to be the most interesting application area for the new diagnostic method – bedside measurement of functional residual capacity (FRC). The study in focused on comparative FRC dynamics data in patients with and without restrictive respiratory failure during the automatic PEEP tuning procedure.

Key words: mechanical ventilation, restrictive lung diseases, functional residual capacity, the partial pressure of oxygen in the arterial blood, compliance, positive end-expiratory pressure.

Прикроватный метод оценки функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ) сравнительно недавно стал доступным инструментом настройки параметров респираторной поддержки [1]. Вплоть до начала XXI столетия из-за технического несовершенства оценка ФОЕ во время ИВЛ была предметом преимущественно научного интереса [2], хотя у спонтанно дышащих пациентов отделений пульмонологии клиническое использование расчета ФОЕ является привычной, незаменимой составляющей спирометрических исследований [3].

На сегодняшний день в доступной литературе отсутствуют четкие рекомендации относительно использования оценки ФОЕ у вентилируемых пациентов, существующие исследования носят поисковый характер, а роль и место оценки ФОЕ во время ИВЛ остаются неопределенными. Практическая ценность расчета ФОЕ ожидаема прежде всего у пациентов с поражением легких по рестриктивному типу,

в то время как отслеживание ФОЕ при обструкции лишено смысла по причине феномена «воздушных ловушек» [4].

Использованная нами методика измерения ФОЕ во время респираторной поддержки является вариантом классического метода разведения индикаторного газа, базируется на анализе состава вдыхаемой и выдыхаемой газовых смесей, не требует прерывания ИВЛ, признана точной [5] и безопасной [6].

Простота такой технологии оценки ФОЕ во время ИВЛ значительно расширяет возможности метода [7]. В имеющейся литературе уже представлен определенный опыт клинической апробации новой диагностической составляющей дыхательного мониторинга (ФОЕ) в двух основных направлениях респираторной поддержки – стратегии защиты легких [8] и концепции открытого легкого [7, 9, 10]. Кроме того, расчет ФОЕ осуществляли у пациентов с рестриктивными нарушениями легких при проведении

вентиляции в положении на животе [11] и выборе метода санации трахеи [12].

Несмотря на отмеченную исследователями перспективность использования оценки ФОЕ для предупреждения вентилятор-индуцированного повреждения легких [8], результаты приведенного исследования пока не носят даже рекомендательного характера, а указывают лишь на возможность дальнейшего изучения метода. В противоположность этому расчет ФОЕ во время расправления легких оказался более близким к реальным клиническим условиям, что нашло практическое отражение во внедренной в состав дыхательного аппарата Engstrom Carestation опции автоматической настройки ПДКВ – «РЕЕР INview» (автоматическое измерение ФОЕ при заданных значениях ПДКВ).

Возможность оценки ФОЕ во время поиска оптимального уровня конечно-экспираторного давления способствовала появлению нового термина, обозначающего ФОЕ при ПДКВ, – «объем легких конца выдоха» (EELV – end-expiratory lung volume) [6], что является весомой терминологической поправкой, поскольку, согласно классическому определению, ФОЕ представляет сумму резервного объема выдоха и остаточного объема, остающихся в легких после спокойного выдоха при условии, что во время выдоха давление в дыхательных путях становится равным атмосферному [3].

Цель исследования – определить практическую значимость расчета EELV у пациентов с рестриктивными нарушениями аппарата внешнего дыхания во время поиска оптимального уровня конечно-экспираторного давления.

Материал и методы

В рамках данного исследования наблюдению подверглось 16 пациентов с рестриктивными нарушениями аппарата внешнего дыхания различного генеза (пневмонии (5 чел.), отеки легких кардиогенной (7 чел.) и некардиогенной (4 чел.) природы). Динамика EELV у 15 пациентов во время процедуры поиска оптимального уровня ПДКВ графически представлена на рис. 1.

По причине использования различных уровней ПДКВ у различных пациентов все вовлеченные в исследование больные были условно разделены на две группы: группу с последовательностью уровней ПДКВ 6–8–10 см вод. ст. (8 чел.) и группу с последовательностью уровней ПДКВ 8–10–12 см вод. ст. (7 чел.).

Для сравнения и выявления роли и места расчета EELV у больных с рестриктивной патологией легких, дополнительно представлены данные проведенных нами ранее исследований EELV у 45 пациентов, не имевших нарушений механики внешнего дыхания (рис. 2).

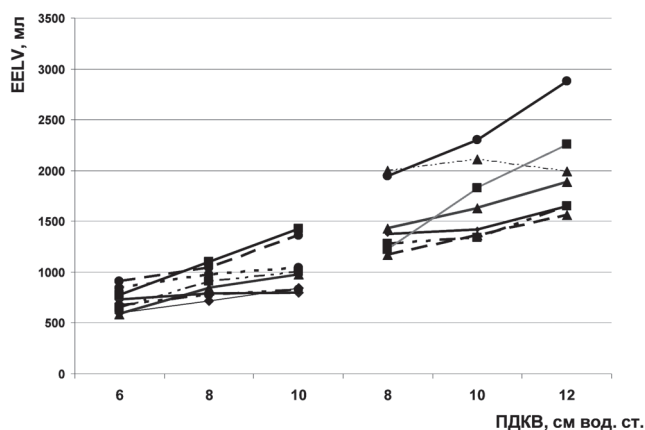


Рис. 1. Динамика EELV у 15 пациентов с рестриктивными нарушениями аппарата внешнего дыхания

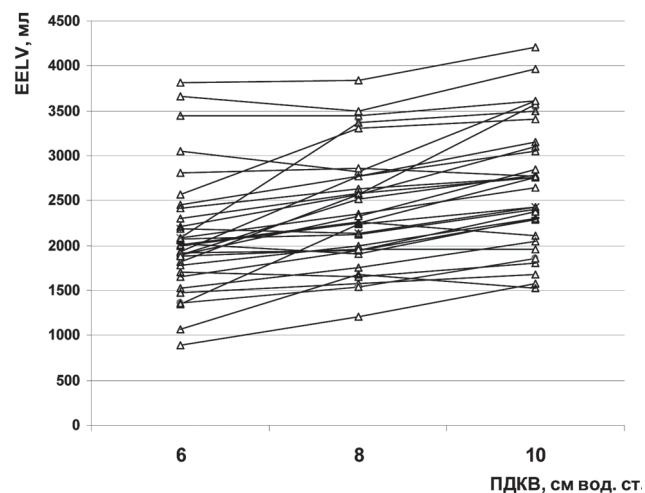


Рис. 2. Динамика EELV у 45 пациентов, не имевших нарушений механики внешнего дыхания

Один из рассматриваемых в настоящем исследовании случаев отличался от других продолжительностью наблюдения, в общей сложности составившей 16 сут, в течение которых пациент трижды (на 5, 12 и 16-е сут) подвергся процедуре автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», включавшей оценку показателей дыхательного мониторинга на четырех, последовательно устанавливаемых уровнях конечно-экспираторного давления. Бóльшее количество использованных уровней, а так-

же бóльшая суммарная продолжительность наблюдения способствовали получению показательных результатов, которые решено представить в качестве отдельной клинической демонстрации.

Таким образом, проведенное исследование представляет:

1) сравнительное описание динамики ФОЕ у больных с наличием или отсутствием патологии аппарата внешнего дыхания;

2) углубленную оценку показателей дыхательного мониторинга, трижды измерявшихся у пациента во время процедур автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненных на 5, 12 и 16-е сут его пребывания в ОРИТ.

В качестве клинической демонстрации использовали результаты измерений, выполненных у пациента А., 53 лет (демографические и антропометрические данные пациента отражены в табл. 1), с диагнозом: ИБС, острый трансмуральный инфаркт миокарда, кардиогенный отек легких. В течение всего периода наблюдения больной находился на респираторной поддержке, обеспечиваемой дыхательным аппаратом Engstrom Carestation (GE Healthcare, Мэдисон, США). Вентиляция осуществлялась в режиме PCV–CMV, со следующими исходно установленными параметрами: РЕЕР 6 см вод. ст.; PIP 25 см вод. ст.; T_{insp} 3 с; I:E = 1:1; f 10 /мин.

Каждый из проведенных эпизодов подбора уровня ПДКВ предварялся введением гипнотика (пропофол, суммарно 300 мг) с целью преду-

ждения двигательной активности пациента, потенциально способной стать причиной сбоя процесса измерений. Во избежание погрешностей измерений установленные параметры вентиляции поддерживались неизменными, за исключением значений ПДКВ и FiO_2 , изменчивость которых предусмотрена процедурой «РЕЕР INview».

В течение 15–20 мин, предшествующих запуску процедуры настройки ПДКВ, контролировалось постоянство значений показателей потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа (VCO_2).

Активация опции «РЕЕР INview» состояла в выборе начального и конечного значений ПДКВ, а также установке количества измерений. Оценка ФОЕ, потребления кислорода (газовый модуль COVX (GE Healthcare, Хельсинки, Финляндия)), комплайенса, PaO_2 выполнялись на каждом из выбранных уровней конечно-экспираторного давления. Среднее время вентиляции на каждом уровне ПДКВ составило 7 ± 1 мин.

На протяжении всего периода исследования осуществлялся непрерывный контроль динамики показателей кровообращения (табл. 2): АДсис., АДдиаст., АДср., ЧСС, ЦВД. Ни один из эпизодов автоматической настройки уровня ПДКВ не вызвал значимых колебаний гемодинамических показателей, требующих остановки активированной опции «РЕЕР INview» или необходимости корректировки скорости введения симпатомиметиков.

Таблица 1

Демографические и антропометрические данные пациента А.

Пол	мужской
Возраст, лет	53
Рост, м	1,8
Масса тела, кг	120
ИМТ, кг/м ²	37
Площадь поверхности тела, м ²	2,37
Референтное значение ФОЕ (сидя), мл	3600
Референтное значение ФОЕ (лёжа), мл	2500

Динамика гемодинамических показателей и скорости введения симпатомиметиков у пациента А. на протяжении всего периода наблюдения

	РЕЕР, см вод. ст.	АД среднее, мм рт. ст.	ЧСС/мин	ЦВД, мм рт. ст.	Скорость введения симпатомиметиков
5-е сут	6	65	77	16	дофамин 5 мкг/кг/мин, адреналин 0,05 мкг/кг/мин
	8	66	75	17	
	10	62	78	22	
	12	59	78	22	
	8				
12-е сут	6	83	97	12	дофамин 2 мкг/кг/мин, адреналин 0,01 мкг/кг/мин
	8	78	96	12	
	10	81	95	13	
	12	77	90	14	
	8				
16-е сут	8	69	74	10	дофамин 2 мкг/кг/мин
	10	70	74	10	
	12	65	73	10	
	14	65	74	11	
	8				

Результаты и их обсуждение

При сравнении динамики EELV у пациентов со здоровыми легкими (рис. 2) с динамикой EELV у пациентов с поражением аппарата внешнего дыхания по типу рестрикции (рис. 1) обнаруженные исходные значения EELV в группе пациентов с рестрикцией значительно ниже значений EELV у пациентов со здоровыми легкими – $1080,1 \pm 155,7$ мл против $2079,5 \pm 100,5$ мл ($p < 0,001$) (рис. 3).

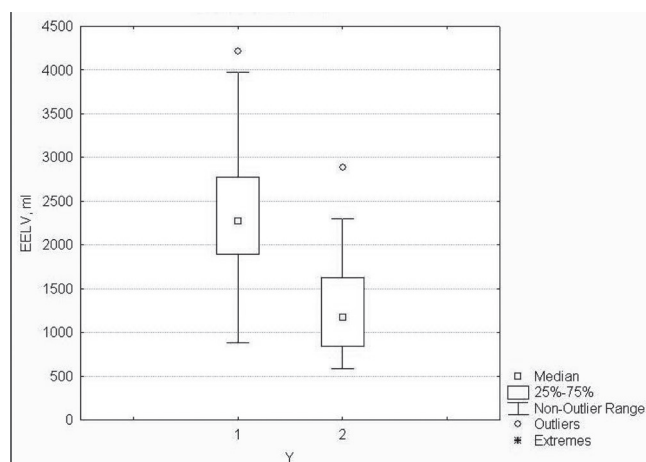


Рис. 3. Сравнение исходных значений EELV у пациентов со здоровыми легкими с исходными значениями EELV у пациентов с поражением аппарата внешнего дыхания по типу рестрикции: 1 – группа пациентов со здоровыми легкими; 2 – группа пациентов с рестрикцией

Очевидна также и более выраженная динамика увеличения исходно низкого EELV в группе больных с рестриктивными нарушениями аппарата внешнего дыхания, дающая суммарный прирост EELV в среднем на 19,9 %, против 16,1% в группе пациентов со здоровыми легкими. Отличия, однако, не достигли статистической значимости по причине, вероятно, 1) недостаточного количества наблюдений и 2) различной тяжести рестриктивных нарушений, требующих разных уровней ПДКВ для эффективного раскрытия альвеол. Следует отметить, что ни в одной из рассмотренных групп при заданных уровнях ПДКВ значения EELV не выходят на плато.

Примером такой выраженной динамики EELV у пациента с исходно грубыми рестриктивными нарушениями легких является представленный ниже клинический случай.

Динамика EELV во время процедур автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненных на 5, 12 и 16-е сут пребывания пациента в ОРИТ, отображена на рис. 4.

Исходное значение EELV (5-е сут) при ПДКВ, равном 6 см вод. ст., составило 895 мл, что значительно ниже референтного показателя ФОЕ для находящегося в положении на спине пациента такого роста и возраста (2500 мл), и свидетельствует о существенном сокращении объема легких, подтверждаемом исходными

значениями других показателей дыхательного мониторинга (комплаенса, PaO_2 , респираторного индекса), а также рентгенологическим заклю-

чением, позволяющим констатировать наличие интерстициального отека легких (динамика показателей отражена на рис. 5 и в табл. 3).

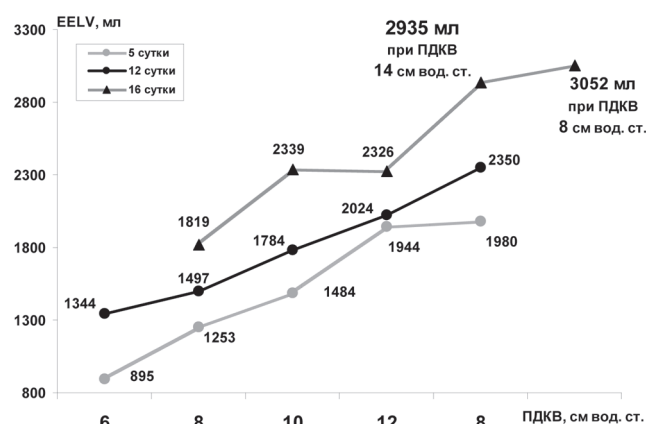


Рис. 4. Динамика EELV во время процедур автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненных на 5-е, 12-е и 16-е сут пребывания пациента в ОРИТ

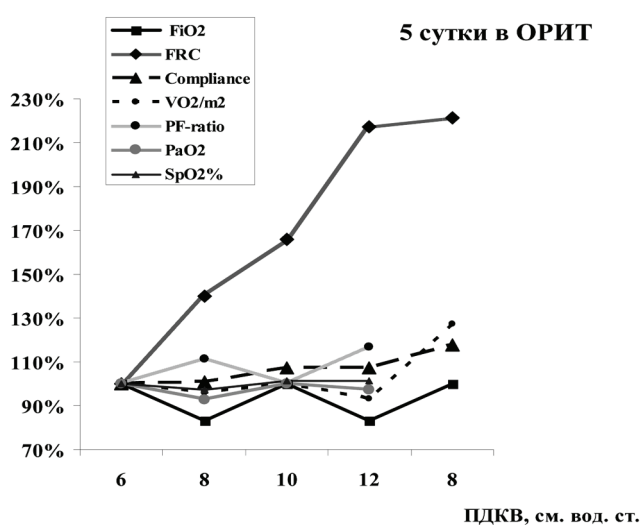


Рис. 5. Динамика показателей дыхательного мониторинга (пациент А.) во время процедуры автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненной на 5-е сут пребывания пациента в ОРИТ

Таблица 3

Динамика показателей дыхательного мониторинга пациента А., измеренных на протяжении всего периода наблюдения

	РЕЕР, см вод. ст.	EELV, мл	Compliance, мл/см вод. ст.	VO ₂ /м ² , мл/мин/м ²	PF-ratio, мм рт. ст.	PaO ₂ , мм рт. ст.	SpO ₂ %	FiO ₂
5-е сут	6	895	47,5	147	124,7	74,5	94,6	0,6
	8	1253	48	141	138,2	69,1	93,6	0,5
	10	1484	51	147	124,7	74,5	94,8	0,6
	12	1944	51	137	145,2	72,6	94,4	0,5
	8	1980	56	187	-	-	-	0,6
12-е сут	6	1344	49	180	124,8	62,4	92,5	0,5
	8	1497	54	171	206,8	82,7	96,6	0,4
	10	1784	58	163	199,4	99,7	98	0,5
	12	2024	56	163	205,5	82,2	96,8	0,4
	8	2350	58	167	215,8	86,3	97,2	0,4
16-е сут	8	1819	65	152	247	148	99	0,6
	10	2339	68	164	274	137	99	0,5
	12	2326	69	144	235	141	99	0,6
	14	2935	63	148	255	153	99	0,6
	8	3052	64	158	-	-	-	0,5

Дальнейшее изменение уровня ПДКВ в последовательности 8–10–12–8 см вод. ст. привело к росту значений EELV, соответственно, на 358–231–460–36 мл. Выход кривой EELV на «плато» при смене уровня ПДКВ с 12 см вод. ст. до 8 см вод. ст., совпадающий с ростом значения податливости, в сравнении со значениями этих же показателей (EELV и комплайнса) при ранее установленном ПДКВ 8 см вод. ст. может интерпретироваться как расправление альвеол, достигнутое посредством использования предшествующих уровней ПДКВ.

Отмечаемый в ранее проведенных нами исследованиях [13] (в группе пациентов со здоровыми легкими) «ломаный» характер показателя PaO_2 , вторящий необходимым для реализации расчета EELV колебаниям FiO_2 ($\pm 10\%$ относительно предшествующего уровня фракции кислорода во вдыхаемом воздухе на каждом из установленных уровней конечно-экспираторного давления), подтверждает предшествующие выводы относительно невозможности использования (в случае активации опции серийной оценки EELV) показателя PaO_2 в качестве индикатора оптимальности выбранных параметров вентиляции. В то же время, ранее не отмечаемая нами [13] «ломаность» динамики респираторного индекса (см. рис. 5), возможно, тоже является результатом гетерогенности рестриктивных нарушений у исследованных пациентов, фиксированное увеличение ПДКВ у которых, в избранных нами границах, приводит к разной степени раскрытия альвеол и, соответственно, изменениям артериальной оксигенации.

Контроль за изменчивостью EELV позволил обнаружить очевидное отличие величин исходных значений EELV, измеренных на 5-е и 12-е сут при установленном уровне ПДКВ 6 см вод. ст. Исходное значение EELV, измеренное при ПДКВ, равном 6 см вод. ст. (12-е сут), превысило значение EELV при ПДКВ 6 см вод. ст., измеренное на 5-е сут на 449 мл. Более высокие (в сравнении с 5-ми сут) значения комплайнса свидетельствуют о положительной динамике, также подтверждаемой результатами рентгенологического исследования, фиксирующими исчезновение интерстициального отека легких.

Наибольшие значения комплайнса, зафиксированные при ПДКВ 12 см вод. ст. (16-е сут) в сочетании со значениями EELV (2326 мл), близкими по величине к расчетному референтному значению ФОЕ (2500 мл) для пациента такого роста и возраста, находящегося в положении на спине, вероятно, свидетельствуют об оптималь-

ности конечно-экспираторного давления, равного 12 см вод. ст.

В ходе исследования обнаружилась достаточно неопределенная динамика показателя потребления кислорода (рис. 5–7, табл. 2). Смена уровня ПДКВ в последовательности 6–8–10–12 см вод. ст. вызвала следующие колебания значений VO_2I : 147–141–147–137 мл/мин/м² с очевидным подъемом до 187 мл/мин/м² после маневра (5-е сут). На 12-е сут наибольшее (180 мл/мин/м²) значение VO_2I было зафиксировано в самом начале исследования при ПДКВ, равном 6 см вод. ст. Дальнейшая смена уровней ПДКВ (8–10–12–8 см вод. ст.) привела к получению более низких значений показателя потребления кислорода (171–163–163–167 мл/мин/м²). На 16-е сут кривая, отражающая динамику VO_2I в процессе автоматического подбора уровня конечно-экспираторного давления, имела ломаный вид, максимальное значение VO_2I (164 мл/мин/м²) сопровождало уровень ПДКВ, равный 10 см вод. ст.

В целом, по направленности изменений большинства контролируемых в ходе исследования показателей (EELV, комплайнса, PF-ratio, PaO_2) (см. рис. 4–7, табл. 2–3) очевидна положительная динамика состояния легких.

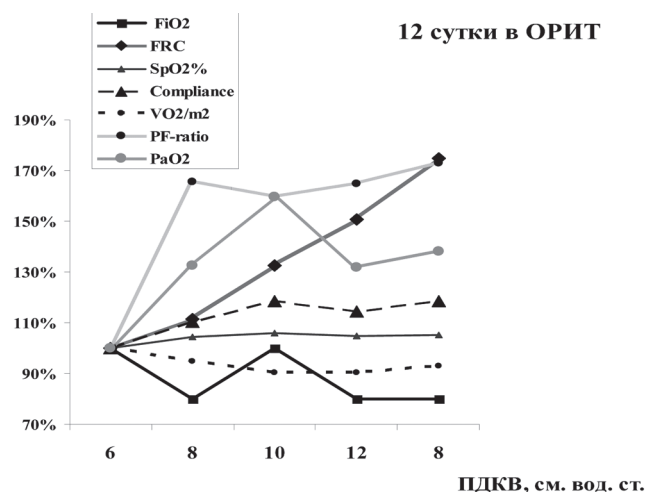


Рис. 6. Динамика показателей дыхательного мониторинга (пациент А.) во время процедуры автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненной на 12-е сут пребывания пациента в ОРИТ

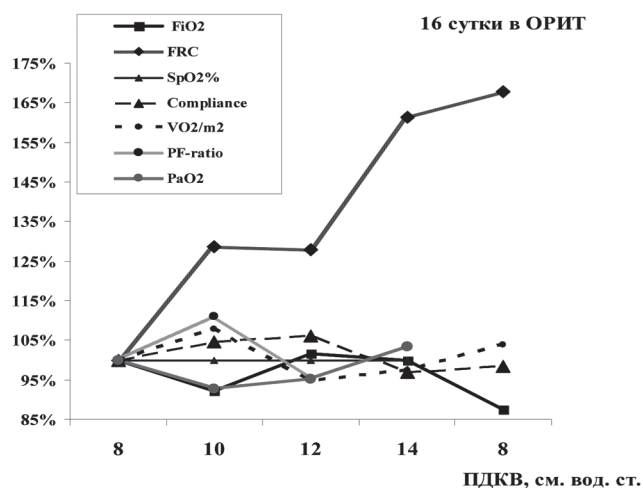


Рис. 7. Динамика показателей дыхательного мониторинга (пациент А.) во время процедуры автоматического подбора ПДКВ – «РЕЕР INview», выполненной на 16-е сут пребывания пациента в ОРИТ

Более низкие значения EELV, а также более выраженная динамика увеличения исходно низкого EELV в группе пациентов с рестриктивными нарушениями аппарата внешнего дыхания, по сравнению со значениями и динамикой EELV в группе пациентов со здоровыми легкими, без сомнения, объясняются, во-первых, исходным коллапсом значительной массы альвеол, а во-вторых, последующим их прогрессивным вовлечением в вентиляцию (что обусловлено использованием возрастающих уровней ПДКВ), и наглядно отражают эффективность выбранной тактики респираторной поддержки. Интересно, что ни в одной из групп не обнаружено выхода показателя EELV на плато, что, с физиологической точки зрения, является вполне объяснимым, поскольку процесс увеличения давления происходит не в ригидной полости (как, например, внутри черепной коробки), а внутри достаточно податливых структур, где вероятность перерастяжения легких сравнительно велика и по сути предельно ограничена растяжимостью диафрагмы и сохранностью каркаса грудной клетки. Очевидно, что оценка степени смещения куполов диафрагмы в качестве рубежа с точки зрения расправления легких недопустима, поскольку в подобном случае развитие фатального вентилятор-индуцированного повреждения легких представляется практически гарантированным.

С учетом прежде описанной [7] нечувствительности показателя EELV к перерастяжению ранее расправленных альвеол роль расчета EELV представляется клинически значимой

именно на первоначальном этапе оценки степени поражения легких, когда отличие измеренных исходных значений EELV от расчетных референтных позволяет делать достаточно обоснованные выводы о выраженности рестриктивных нарушений. Также ценна и динамика роста EELV в ответ на подбор ПДКВ, в комплексе с другими параметрами позволяющая осознать необходимость дальнейшего раздувания легких или приходиться к заключению о «не чисто легочном» характере существующей гипоксемии.

Важность такого экспертного мониторинга может быть проиллюстрирована и данными представленного клинического наблюдения.

Подобно наблюдаемому в проведенном нами исследовании, выраженному снижению исходного EELV, составившему 36% относительно прогнозируемого значения, наглядность снижения EELV у пациентов с поражением легких по рестриктивному типу (до 35–42% прогнозируемого значения ФОЕ) отмечена также и другими авторами, изучавшими влияние значений ПДКВ на динамику показателей дыхательного мониторинга [7, 14]. Диагностическая ценность расчета EELV особенно подчеркивается Reutershan [11], обнаружившим значимость исходного расчета ФОЕ в выявлении пациентов, расправление альвеол у которых может быть достигнуто вентиляцией в положении на животе.

В противоположность нашему исследованию, в ходе которого зафиксирован рост EELV при переходе с большего на меньший уровень ПДКВ, исследования других авторов, изучавших динамику EELV при нисходящем варианте настройки ПДКВ, не содержат описания схожих ситуаций, хотя графическое представление полученных исследователями данных [7] визуализирует подобные единичные случаи.

Следует отметить, что в литературе, описывающей оценку EELV при поиске оптимального уровня ПДКВ, нам не встретилось информации относительно влияния запрограммированных алгоритмом расчета EELV колебаний FiO_2 на значения PaO_2 и респираторного индекса, что, вероятно, объяснимо фактом использования авторами дискретного, а не серийного (процедура «РЕЕР INview») расчета EELV. Также не встречается сведений и о совместном использовании расчета EELV с показателем потребления кислорода.

Относительно сочетания оценки EELV с показателями газового состава крови существуют противоположные мнения [15]. Одно из них –

предположение об альтернативе расчета EELV комплайнсу и возможном сочетании расчета EELV с показателями газового состава крови. Другое [7] предполагает возможность замены анализа газового состава артериальной крови прикроватным расчетом EELV в сочетании с измерением комплайенса; такой выбор обосновывается известной зависимостью [7, 16] показателя оксигенации артериальной крови от гемодинамики и состояния метаболизма, влияющих на показатель специфичности при выявлении расправления легких.

Результаты нашего исследования, а также прежде описанная нечувствительность метода расчета EELV к перерастяжению ранее расправленных альвеол [7] дают право считать сочетание расчета EELV и комплайенса более рациональным.

Отдельного обсуждения заслуживает оценка потребления кислорода – фундаментального тонкорегулируемого параметра, поддержание которого обеспечивается множеством факторов, в т. ч. респираторных, гемодинамических, метаболических и др. Получить отчетливую его динамику только благодаря подстройке (даже самой оптимальной!) параметров вентиляции представляется достаточно сложным, особенно если этот параметр не находится где-то вблизи точки начала его зависимости от кислородной доставки. При этом есть все основания полагать, что именно оптимизация потребления кислорода может оказаться ключевым ориентиром терапии критических пациентов любого профиля. Как бы то ни было, понимание роли и места VO_2I во время настройки параметров ИВЛ требует проведения дополнительных исследований с особым вниманием к его динамике у пациентов с критической гипоксемией.

Выводы

Исходная оценка EELV дает представление об объеме поражения легких у пациентов с нарушениями внешнего дыхания по рестриктивному типу.

В комбинации с другими измерениями (комплаинс, PaO_2 , респираторный индекс) прикроватный расчет EELV неинвазивно, в режиме реального времени позволяет оценивать адекватность выбранных параметров вентиляции у пациентов с рестриктивной патологией легких, предоставляя важную дополнительную информацию.

С учетом влияния изменчивости FiO_2 , запрограммированной алгоритмом серийной оценки

EELV («PEEP INview») на оксигенацию артериальной крови, текущая оценка адекватности каждого выбранного уровня ПДКВ должна обеспечиваться расчетом EELV в сочетании с измерением комплайенса.

Литература

1. *Mathews, P.* The Engstrom Carestation critical care ventilator / P. Mathews [et al.] // Focus Journal. – 2007. – P. 52–53.
2. *Yernault, J.-C.* How the measurement of residual volume developed after Davy (1800) / J.-C. Yernault [et al.] // Eur Respir J. – 2000. – Vol. 16. – P. 561–564.
3. *Клинические рекомендации.* Пульмонология / под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2008. – 240 с.
4. *Лебединский, К.М.* Основы респираторной поддержки / К.М. Лебединский, В.А. Мазурок, А.В. Нефедов // – СПб.: Человек, 2008. – 208 с.
5. *Chiumello, D.* Nitrogen washout/washin, helium dilution and computed tomography in the assessment of end expiratory lung volume / D. Chiumello [et al.] // Crit Care. – 2008. – Vol. 12, № 6. – P. 1–8.
6. *Dellamonica, J.* Accuracy and precision of end-expiratory lung volume measurements by automated nitrogen washout/washin technique in patients with acute respiratory distress syndrome / J. Dellamonica [et al.] // Critical Care. – 2011. – Vol. 15 – P. 2–8.
7. *Bikker, G.* End-expiratory lung volume during mechanical ventilation: a comparison with reference values and the effect of positive end-expiratory pressure in intensive care unit patients with different lung conditions / G. Bikker [et al.] // Critical Care. – 2008. – Vol. 12, № 6. – P. 1–6.
8. *Chiumello, D.* Lung stress and strain during mechanical ventilation for acute respiratory distress syndrome / D. Chiumello [et al.] // Am J Respir Crit Care Med. – 2008. – Vol. 178. – P. 346–355.
9. *Caironi, P.* How to monitor lung recruitment in patients with acute lung injury / P. Caironi [et al.] // Curr Opin Crit Care. – 2007. – P. 338–343.
10. *Dellamonica, J.* PEEP-induced changes in lung volume in acute respiratory distress syndrome. Two methods to estimate alveolar recruitment / J. Dellamonica [et al.] // Intensive Care Med. – 2011. – Vol. 37 – P. 1595–1604.

11. *Reutershan, J.* Alveolar recruitment during prone position: time matters / J. Reutershan [et al.] // Clinical Science. – 2006. – P. 655–663.

12. *Heinze, H.* Changes in functional residual capacity during weaning from mechanical ventilation: a pilot study / H. Heinze [et al.] // Anesth. Analg. – 2009. – Vol. 108. – P. 911–915.

13. *Ручина, Е.В.* Оценка функциональной остаточной емкости легких в клинических условиях : учебное пособие / Е.В. Ручина [и др.]. – СПб. : Издательство СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2012. – 28 с.

14. *Brewer, L.M.* Measurement of Functional Residual Capacity of the Lung by Partial CO₂

Rebreathing Method During Acute Lung Injury in Animals / L.M. Brewer [et al.] // Respir Care. – 2007. – Vol. 52, № 11. – P. 1480–1489.

15. *Rylander, C.* Functional Residual Capacity and Respiratory Mechanics as Indicators of Aeration and Collapse in Experimental Lung Injury/ C. Rylander [et al.] // Anesth Analg. – 2004 – P. 782–789.

16. *Maisch, S.* Compliance and Dead Space Fraction Indicate an Optimal Level of Positive End-Expiratory Pressure After Recruitment in Anesthetized Patients / S. Maisch [et al.] // Anesth Analg. – 2008. – Vol. 106, № 1. – P. 175–181.

В.А. Мазурок

e-mail: vmazurok@mail.ru