



Изменение энергетических затрат при снижении давления поддержки как предиктор успешного прохождения теста спонтанного дыхания

Я. В. САВЧЕНКО¹, А. С. ГОРЯЧЕВ¹, И. А. САВИН¹, К. Ю. КРЫЛОВ^{1,2}, А. А. ПОЛУПАН¹, Т. М. БИРГ¹

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко» МЗ РФ, Москва, РФ

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» МЗ РФ, Москва, РФ

РЕЗЮМЕ

Цель: оценка динамики изменения энергетических затрат (ЭЗ) при снижении давления поддержки (PS) как предиктора готовности пациента к переводу на самостоятельное дыхание.

Материал и методы. В исследование включено 33 пациента, которые не менее 7 сут находились на искусственной вентиляции легких. Уровень PS снижался с 20 до 4 см вод. ст. с шагом 4 см вод. ст. На каждом уровне измерены ЭЗ пациентов с помощью методики непрямой калориметрии. В конце исследования проводили тест спонтанного дыхания (ТСД).

Результаты. У 22 (67%) пациентов наблюдался как минимум один эпизод статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS (группа 1). У остальных 11 (33%) пациентов при снижении уровня PS ЭЗ либо достоверно не изменялись, либо наблюдалось их снижение (группа 2). ТСД был успешно пройден у 14 из 22 пациентов из группы 1 и у всех 11 пациентов из группы 2. Отсутствие эпизодов повышения ЭЗ при снижении PS явилось предиктором успешного прохождения ТСД (чувствительность – 44%, специфичность – 100%).

Вывод. Отсутствие эпизодов статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS является высокоспецифичным предиктором прохождения ТСД.

Ключевые слова: искусственная вентиляция легких, непрямая калориметрия, отлучение от искусственной вентиляции легких, потребление кислорода, работа дыхания, респираторный комфорт, энергетические затраты

Для цитирования: Савченко Я. В., Горячев А. С., Савин И. А., Крылов К. Ю., Полупан А. А., Бирг Т. М. Изменение энергетических затрат при снижении давления поддержки как предиктор успешного прохождения теста спонтанного дыхания // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 24-31. DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-3-24-31

Changes in energy expenditures while reducing pressure support as a predictor of successful spontaneous breathing trial

YA. V. SAVCHENKO¹, A. S. GORYACHEV¹, I. A. SAVIN¹, K. YU. KRYLOV^{1,2}, A. A. POLUPAN¹, T. M. BIRG¹

¹N. N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russia

²Pirogov Russian National Research Medical University, Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

ABSTRACT

The objective: to assess changes in energy expenditures (EE) when reducing pressure support (PS) as a predictor of the patient's readiness for transfer to spontaneous breathing.

Subjects and methods. The study included 33 patients who had been on mechanical ventilation for at least 7 days. PS reduced from 20 to 4 cmH₂O at the interval of 4 cmH₂O. At each level, the patient's EE were measured with indirect calorimetry. At the end of the study, spontaneous breathing trial (SBT) was performed.

Results. In 22 (67%) patients, at least one episode of a statistically significant increase in EE was observed upon transition to a lower level of PS (Group 1). In remaining 11 (33%) patients, with decreased level of PS, EE decreased or did not significantly change (Group 2). SBT was successful in 14 out of 22 patients from Group 1 and all 11 patients from Group 2. The absence of episodes of increased EE during decreased PS was a predictor of successful SBT (sensitivity – 44%, specificity – 100%).

Conclusion. The absence of episodes of a statistically significant increase in EE during the transition to a lower level of PS is a highly specific predictor of successful SBT.

Key words: mechanical ventilation, indirect calorimetry, weaning from mechanical ventilation, oxygen consumption, respiratory work, respiratory comfort, energy expenditure

For citations: Savchenko Ya. V., Goryachev A. S., Savin I. A., Krylov K. Yu., Polupan A. A., Birg T. M. Changes in energy expenditures while reducing pressure support as a predictor of successful spontaneous breathing trial. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2020, Vol. 17, no. 3, P. 24-31. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-3-24-31

Для корреспонденции:

Савченко Ян Вячеславович
E-mail: yanssavchenko@gmail.com

Correspondence:

Yan V. Savchenko
Email: yanssavchenko@gmail.com

В настоящее время предложено много параметров, которые могут быть использованы для оценки готовности пациента, находящегося на искусственной вентиляции легких (ИВЛ), к переводу на самостоятельное дыхание [4]. Наибольшее распространение получили: индекс частого поверхностного

дыхания, максимальное инспираторное давление, давление окклюзии (P_{0,1}) и др. [2, 4, 21]. Роль метаболических показателей (энергетических затрат (ЭЗ) и потребления кислорода) как предикторов успешного отлучения от ИВЛ в настоящее время не определена [19]. Немногочисленные исследо-

вания, проведенные в этой области, указывают на потенциальную диагностическую ценность этих параметров [19]. Наша гипотеза состоит в том, что оценка динамики изменения ЭЗ при постепенном снижении давления поддержки (PS) в спонтанном режиме ИВЛ у нейрохирургических пациентов может быть использована для оценки готовности к самостоятельному дыханию.

Материал и методы

Исследование носило проспективный характер. Критерии включения в исследование: выполненная нейрохирургическая операция, ИВЛ в течение 7 сут и более, ИВЛ через трахеостомическую трубку, ИВЛ в спонтанном режиме, ИВЛ с поддержкой давлением (pressure support ventilation, PSV) более 24 ч, решение лечащего врача о готовности пациента к прохождению теста спонтанного дыхания (ТСД). Критерии исключения из исследования: наличие признаков дыхательной недостаточности ($SpO_2 < 93\%$ при FiO_2 более 30% , требуемое ПДКВ > 8 см вод. ст.), температура тела выше $38^\circ C$ в течение последних суток, вазопрессорная и/или кардиотоническая поддержка, психомоторное возбуждение (RASS +2 и больше) и/или необходимость постоянной седации, избыточная трахеобронхиальная секреция (необходимо более двух санаций трахеи в час), отрицательная динамика неврологического статуса (снижение уровня сознания, появление новых очаговых неврологических симптомов в течение последних 3 сут), утечка из контура аппарата ИВЛ $> 5\%$.

В исследование включено 33 пациента, средний возраст составил 54 ± 12 лет. Основной диагноз пациентов: опухоли головного мозга – 25 (76%) пациентов, аневризмы сосудов головного мозга – 6 (18%) пациентов, черепно-мозговая травма – 2 (6%) пациента.

Протокол исследования. Измерение ЭЗ проводили с помощью системы анализа газообмена и метаболизма CCM Express (MedGraphics, США). Датчик потока с портом для забора газов перед началом исследования устанавливали в дыхательный контур между Y-образным коннектором и трахеостомической трубкой.

ИВЛ во время исследования проводили в режиме PSV. Исследование начинали с уровня PS 20 см вод. ст. Уровень PS последовательно снижали с 20 до 4 см вод. ст. с шагом 4 см вод. ст. На каждом уровне PS (20, 16, 12, 8 и 4 см вод. ст.) пациент находился в течение 25 мин. Если уровень PS был избыточен для пациента, то происходило переключение на более низкий уровень PS. Критерии избыточности уровня PS: дыхательный объем более 15 мл/кг, периоды апноэ более 15 с, кашель в ответ на вдох аппарата ИВЛ. При недостаточном уровне PS вентиляцию в режиме PSV прекращали. Критерии недостаточного уровня PS: частота дыхания более 35 в мин, SpO_2 менее 93%, частота сердечных сокращений выше 120 в

мин, или выше 30% от исходной, повышение $EtCO_2$ более чем на 10 мм рт. ст. от исходного уровня, выраженное двигательное беспокойство (по шкале RASS +2 и больше), участие вспомогательной мускулатуры в акте дыхания.

После вентиляции при PS 4 см вод. ст. пациентам проводили ТСД. Параметры вентиляции при выполнении ТСД: PS 4 см вод. ст., ПДКВ 5 см вод. ст., FiO_2 30%. Продолжительность ТСД – 120 мин. Критерии прекращения ТСД соответствовали критериям недостаточности уровня PS. Если в течение 120 мин не развился ни один из вышеперечисленных признаков, то ТСД считался пройденным успешно. ТСД не проводили у пациентов, у которых вентиляция в режиме PSV была прекращена по причине недостаточности уровня PS. ТСД у таких пациентов автоматически признан пройденным неуспешно.

Обработка данных. Данные с аппарата ИВЛ и с системы анализа газообмена и метаболизма обработаны и синхронизированы во времени. ЭЗ рассчитаны за каждую минуту вентиляции, для дальнейшего анализа в каждом варианте режима PSV использован промежуток с 5-й по 25-ю мин вентиляции. Из полученных данных удалены временные промежутки, связанные с такими факторами, как кашель, санация трахеи и др.

Статистический анализ полученных данных проведен с помощью программы IBM SPSS Statistics 23.0. Анализ значимости изменения ЭЗ при снижении уровня PS для каждого отдельного пациента выполнен с помощью однофакторного дисперсионного анализа (тест ANOVA). Входными данными для теста являлись ЭЗ за каждую минуту вентиляции (зависимая переменная) и уровень PS (независимая переменная). При выявлении значимых отличий далее проводили апостериорные тесты множественных сравнений для определения уровней PS, между которыми имеются достоверные отличия. Для тестов множественных сравнений использовали либо критерий Тьюки при равенстве дисперсий, либо критерий Геймса – Хоуэлла при неравенстве дисперсий (гомогенность дисперсий оценивалась с помощью теста Левена). Сравнение производили только между смежными уровнями PS: 20 и 16 см вод. ст., 16 и 12 см вод. ст., 12 и 8 см вод. ст., 8 и 4 см вод. ст.

В результате дисперсионного анализа все пациенты разделены на две группы. Группа 1 – пациенты, у которых наблюдался как минимум один эпизод статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS. Группа 2 – пациенты, у которых не отмечалось ни одного эпизода статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS. Сравнение успешности прохождения ТСД между группами выполняли с помощью точного теста Фишера. Сравнение продолжительности ИВЛ и максимального прироста ЭЗ проводили с помощью U-критерия Манна – Уитни. Нулевая гипотеза во всех тестах была отклонена на уровне значимости 0,05. Данные представлены в

виде медианы (25-й квартиль; 75-й квартиль) или среднего (\pm стандартное отклонение) в зависимости от типа распределения данных.

Результаты

Продолжительность ИВЛ до включения в исследование составила 14 (8; 21) дней (от 7-го до 31-го дня). Причинами длительной ИВЛ были: низкий уровень бодрствования – 24 (75%) пациента, необходимость протекции дыхательных путей вследствие бульбарных и псевдобульбарных нарушений – 8 (25%) пациентов.

У 6 пациентов вентиляция выполнена при всех пяти уровнях PS. У остальных 27 пациентов ИВЛ при одном или нескольких уровнях PS не проведена в связи с выявлением критериев избыточности и/или недостаточности PS (1).

Группу 1 составили 22 (67%) пациента, у которых наблюдали как минимум один эпизод статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS. Примеры динамики ЭЗ у 4 пациентов из группы 1 представлены на рис. 1. У 3 из 22 пациентов группы 1 отмечалось первоначальное снижение ЭЗ, после чего ЭЗ повышались (пациент № 2 на рис. 1). У остальных 19 пациентов снижения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS не наблюдалось: ЭЗ либо повышались, либо достоверно не изменялись (пациенты № 1, 2 и 4 на рис. 1).

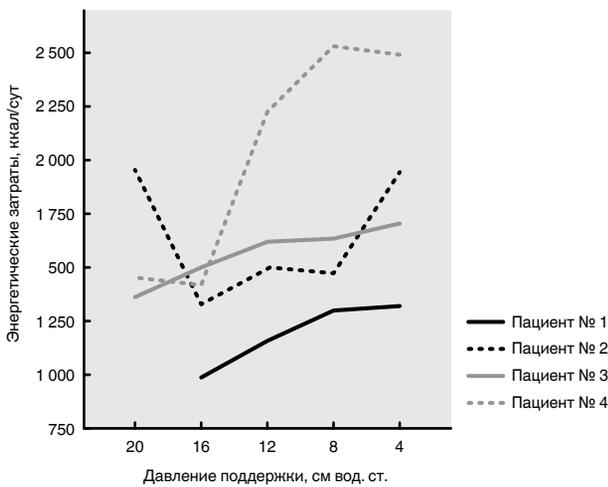


Рис. 1. Примеры динамики ЭЗ у пациентов из группы 1 (пояснения в тексте)

Fig. 1. Examples of changes of EE in patients from Group 1 (explained in the text)

У 11 (33%) пациентов при переходе на более низкий уровень PS повышения ЭЗ не наблюдалось, эти пациенты составили группу 2. У данных пациентов при снижении уровня PS или не было значимых изменений ЭЗ (у 6 пациентов), или наблюдалось снижение ЭЗ (у 5 пациентов). Примеры пациентов из группы 2 представлены на рис. 2.

Продолжительность ИВЛ после выполнения исследования составила 5 (2; 8) сут. Однако данные

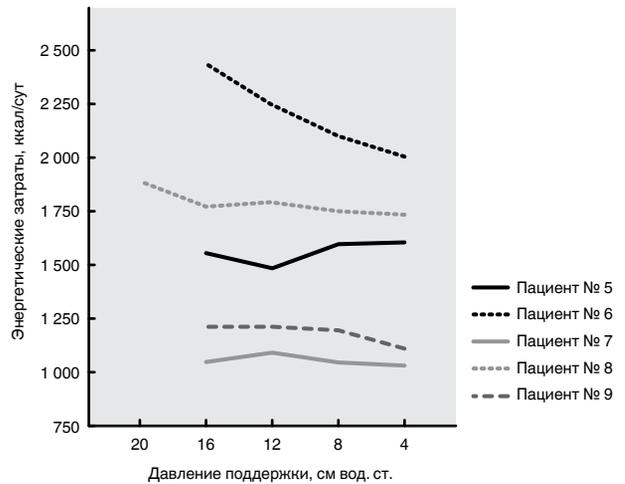


Рис. 2. Примеры динамики ЭЗ у пациентов из группы 2. У пациентов № 6 и № 8 наблюдалось достоверное снижение ЭЗ, у пациентов № 5, № 7 и № 9 ЭЗ статистически значимо не изменялись

Fig. 2. Examples of changes of EE in patients from Group 2. In patients 6 and 8, a significant decrease in EE was observed, in patients 5, 7, and 9, EE did not statistically significantly change

характеризовались большой вариабельностью, разброс составил от 0 до 30 сут. Продолжительность ИВЛ у пациентов группы 1 составила 5 (2; 11) сут. В группе 2 продолжительность ИВЛ была 4 (1; 5) сут (p3). Хотя сроки прекращения ИВЛ были короче в группе 2, статистически значимых отличий между группами не было (U-критерий Манна – Уитни, p = 0,178) (рис. 3).

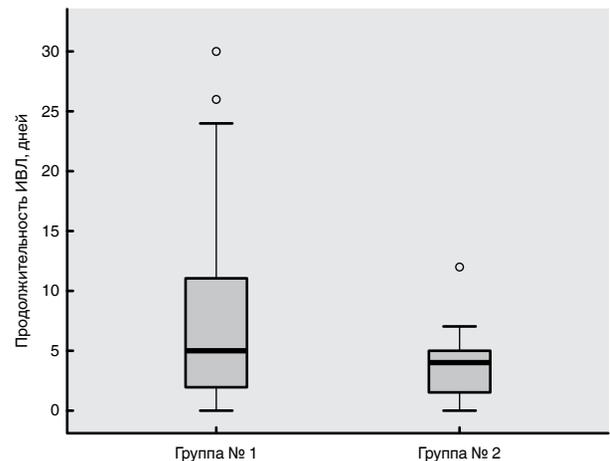


Рис. 3. Продолжительность ИВЛ после выполнения исследования у пациентов групп 1 и 2

Fig. 3. Duration of mechanical ventilation after the study in patients from Groups 1 and 2

ТСД был выполнен у 30 пациентов, у 3 пациентов тест не выполняли по причине прекращения исследования из-за появления признаков недостаточного уровня PS (у этих пациентов ТСД считали автоматически пройденным неуспешно). ТСД был успешно пройден 25 пациентами (76% от общего числа). В группе 1 ТСД был пройден 14 из 22 пациентов

(64%). В группе 2 тест прошли все 11 пациентов (табл. 1). Между двумя группами выявлены статистически значимые отличия в отношении успеш-

ности прохождения ТСД (точный тест Фишера, $p = 0,031$). Таким образом, отсутствие значимого повышения ЭЗ при снижении PS в режиме PSV

Таблица 1. Количество пациентов в зависимости от успешности прохождения ТСД

Table 1. Number of patients depending on successful SBT

Группы	ТСД пройден (число пациентов)	ТСД не пройден (число пациентов)	Всего (число пациентов)
Группа 1	14	8	22
Группа 2	11	0	11
Всего	25	8	33

явилось предиктором успешного прохождения ТСД (чувствительность – 44%, специфичность – 100%).

У пациентов группы 1 был определен максимальный прирост ЭЗ: разница между минимальным и наибольшими ЭЗ, которые наблюдались при снижении PS ниже уровня, при котором наблюдались минимальные ЭЗ. У пациентов, успешно прошедших ТСД, максимальный прирост ЭЗ составил 236 (172; 337) ккал/сут. У пациентов, которые прошли ТСД неуспешно, максимальный прирост ЭЗ был 385 (199; 464) ккал/сут (рис. 4). Относительно минимальных ЭЗ – максимальный прирост ЭЗ у пациентов, успешно и неуспешно прошедших ТСД, составил 16 (12; 29) % и 22 (15; 31) % соответственно (рис. 5). Хотя ЭЗ были выше у пациентов, которые неуспешно прошли ТСД, статистически значимых отличий между группами не выявлено при сравнении абсолютного и относительного приростов ЭЗ (U-критерий Манна – Уитни, $p = 0,165$ и $p = 0,570$ соответственно). Между продолжительностью ИВЛ после исследования и максимальным приростом ЭЗ корреляции не выявлено ($p = 0,934$ для абсолютного прироста ЭЗ, $p = 0,805$ для относительного прироста ЭЗ).

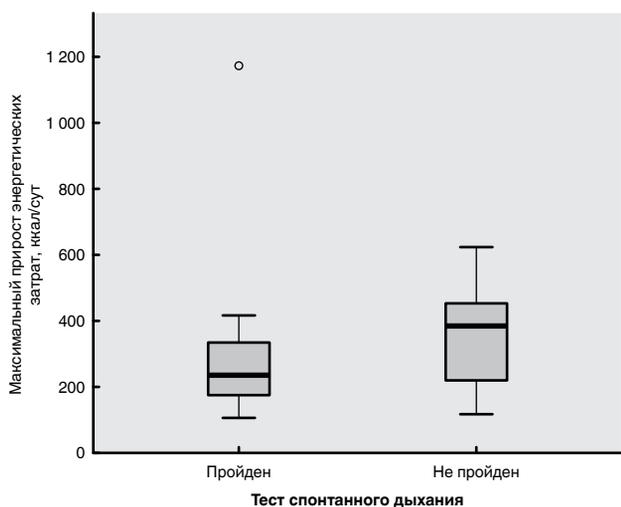


Рис. 4. Максимальный прирост энергетических затрат у пациентов из группы 1 в зависимости от успешности прохождения теста спонтанного дыхания

Fig. 4. The maximum increase in energy expenditures in patients from Group 1, depending on the success of spontaneous breathing trial

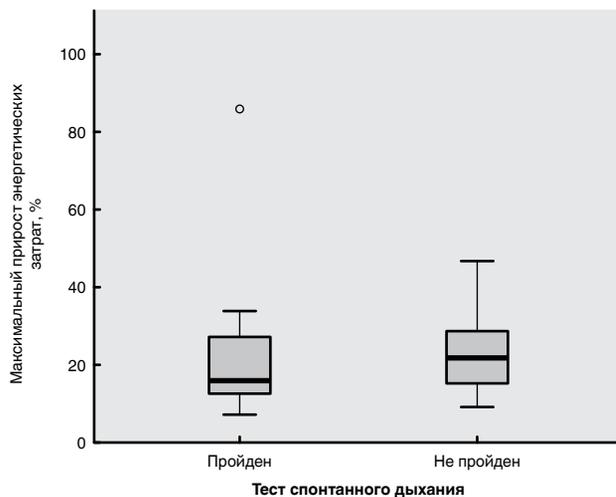


Рис. 5. Максимальный прирост энергетических затрат у пациентов из группы 1 относительно оптимального уровня в зависимости от успешности прохождения теста спонтанного дыхания

Fig. 5. The maximum increase in energy expenditures in patients from Group 1, in respect of the optimum level depending on the success of spontaneous breathing trial

Обсуждение

Изменения метаболических показателей в период отлучения от ИВЛ анализировались в ряде исследований (табл. 2). Целью этих работ был поиск предиктора успешного перевода на самостоятельное дыхание. Наибольшее распространение получило измерение ЭЗ и потребления кислорода, эти показатели являются схожими по сути (при расчете ЭЗ методом непрямой калориметрии, основной вклад вносит именно потребление кислорода) и отражают интенсивность метаболических процессов в организме [20].

Представленные в табл. 2 исследования имеют различный дизайн. В большинстве исследований выполнено сравнение показателей метаболизма между принудительной (или перемежающейся принудительной) ИВЛ и спонтанной ИВЛ в режиме CPAP [1, 9, 12–15, 17, 18]. Только в работах С. Normann и G. Bellani проводилось сравнение различных уровней PS в режиме PSV [3, 8]. В большинстве работ в качестве конечных точек исследования использовались или продолжительность

Таблица 2. Исследования, в которых проведен анализ изменений метаболических показателей в период отлучения от ИВЛ**Table 2. Studies of metabolic parameters during weaning from mechanical ventilation**

Автор, год	Число пациентов	Продолжительность ИВЛ	Режимы и/или параметры ИВЛ	Сравниваемые показатели	Оцениваемый исход	Результаты
Kemper, 1987 [9]	35	Более 18 ч	IMV, CPAP	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (IMV)	Успешная экстубация трахеи после исследования	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (IMV) в группе успешного вининга ($10 \pm 8\%$) достоверно не отличалась от $\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (IMV) в группе неуспешного вининга ($8 \pm 10\%$)
McDonald, 1980 [12]	30	Более 24 ч	CMV, CPAP	ΔV_{O_2} , $\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CPAP)	Продолжительность ИВЛ после исследования	Выявлена значимая корреляция между ΔV_{O_2} и продолжительностью вининга
Shikora, 1990 [18]	19	Более 14 дней	CMV, CPAP	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV)	Экстубация в течение 14 дней после исследования	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) у экстубированных пациентов ($2 \pm 3\%$) была значительно ниже, чем у тех у кого в течение 14 дней продолжалась ИВЛ ($34 \pm 6\%$). $\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) менее 15% – предиктор успешного вининга
Annat, 1990 [1]	8	От 2 до 37 дней	CMV, CPAP	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CPAP)	Продолжительность ИВЛ после исследования до экстубации	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CPAP) = $17 \pm 2\%$, взаимосвязи с продолжительностью ИВЛ нет
Oh, 1991 [15]	20	От 1 до 4 дней	CMV, CPAP	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CPAP)	Успешный ТСД (60 мин в CPAP)	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CPAP) у пациентов, успешно прошедших ТСД ($12 \pm 1\%$), была достоверно ниже, чем у пациентов, не прошедших ТСД ($26 \pm 6\%$)
Hormann, 1992 [8]	14	От 4 до 18 дней	PSV с PS 5, 10 и 20 см вод. ст.	V_{O_2}	Перевод в CPAP в течение 24 ч и последующая экстубация	Пациенты с благоприятным исходом характеризовались значительным ростом V_{O_2} при повышении PS с 10 до 20 см вод. ст. в отличие от пациентов, которым потребовался более инвазивный режим ИВЛ
Shikora, 1994 [17]	28	Более 14 дней	IMV, CPAP	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV)	Экстубация в течение 14 дней после исследования	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) у экстубированных пациентов ($1 \pm 9\%$) была значительно ниже, чем у тех, у кого в течение 14 дней продолжалась ИВЛ ($22 \pm 19\%$). $\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) менее 15% – предиктор успешного вининга
Mitsuoka, 2001 [13]	30	Более 3 дней	CMV, SIMV	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV)	Отсутствие ДН режиме SIMV в течение 30 мин	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) менее 15% предиктор переносимости пациентом данных параметров SIMV
Miwa, 2004 [14]	20	Более 7 дней	CMV, SIMV	$\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV), $\Delta ЭЗ$	Отсутствие ДН в режиме SIMV в течение 30 мин	$\Delta ЭЗ$ достоверно ниже у пациентов, не имевших ДН. $\Delta V_{O_2}/V_{O_2}$ (CMV) менее 30% предиктор переносимости пациентом данных параметров SIMV
Bellani, 2010 [3]	28	30 ± 35 дней	PSV с PS 20, 16, 12, 8, 4 см вод. ст., CPAP	V_{O_2}	Успешный ТСД (60 мин в CPAP)	У пациентов, которые успешно прошли ТСД, наблюдалось более значительное нарастание V_{O_2}

Примечание: CMV – принудительная вентиляция легких, CPAP – постоянное положительное давление в дыхательных путях, IMV – перемежающаяся принудительная вентиляция легких, PSV – вентиляция с поддержкой давлением, PS – давление поддержки, SIMV – перемежающаяся принудительная вентиляция легких, V_{O_2} – потребление кислорода, ΔV_{O_2} – разница потребления кислорода между двумя режимами ИВЛ, ДН – дыхательная недостаточность, ТСД – тест спонтанного дыхания, $\Delta ЭЗ$ – изменение энергетических затрат

отлучения от ИВЛ, или успешность прохождения ТСД. Авторы описывают различные паттерны изменения показателей метаболизма при изменении снижения респираторной поддержки. В большинстве исследований рост потребления кислорода

или ЭЗ при снижении респираторной поддержки был ассоциирован с неуспешным отлучением от ИВЛ [12–15, 17, 18]. Однако в исследованиях M. Kemper et al. и G. Annat et al. не выявлено связи между изменениями метаболических показателей

и продолжительностью ИВЛ [1, 9]. Кроме того, в исследовании G. Bellani et al. получен противоположный результат: у пациентов, которые успешно прошли ТСД, наблюдался более выраженный рост потребления кислорода при снижении PS в режиме PSV [3].

В ряде работ выявлены нетипичные особенности изменения метаболических показателей у некоторых пациентов: при снижении респираторной поддержки отмечалось снижение ЭЗ или потребления кислорода. В исследованиях S. A. Shikora у ряда пациентов потребление кислорода в режиме СРАР было ниже, чем в СМV, причем данные пациенты входили в группу успешного отлучения от ИВЛ [17, 18]. В исследовании С. Ногманн единственной найденной особенностью пациентов, которые были быстро отлучены от ИВЛ, служило снижение потребления кислорода при уменьшении PS с 20 до 10 см вод. ст. [8]. В работе G. Bellani у ряда пациентов при снижении PS с 20 до 0 см вод. ст. отмечалось первоначальное уменьшение потребления кислорода с последующим повышением [3].

Вышеприведенные данные указывают на большую индивидуальную вариабельность изменений метаболических показателей. Это связано с тем, что влияние режима и параметров ИВЛ на ЭЗ организма неоднозначно. С одной стороны, достаточный уровень поддержки аппаратом ИВЛ приводит к снижению работы дыхания. В нормальных условиях работа дыхания составляет не более 5% общих ЭЗ организма, однако при нарушении механических свойств дыхательной системы работа дыхания может значительно увеличиваться и составлять большую часть ЭЗ организма [3, 16]. С другой – проведение ИВЛ может оказывать влияние на респираторный комфорт, который можно определить как отсутствие затруднений при дыхании [10]. Важно, чтобы при проведении ИВЛ параметры вентиляции (дыхательный объем, инспираторный поток, скорость нарастания потока и др.) соответствовали потребностям пациента. Респираторный дискомфорт возникает, когда параметры ИВЛ превышают или не достигают того уровня, к которому адаптирован пациент [5, 10, 11]. Возникающее несоответствие «ожиданий» пациента и настроек вентилятора может приводить к эмоциональным переживаниям, двигательному росту ЭЗ организма [6, 7]. В отличие от работы дыхания, при снижении уровня PS возможны разнонаправленные изменения уровня респираторного комфорта. Респираторный комфорт может снижаться как при снижении респираторной поддержки, когда инспираторный поток и/или дыхательный объем меньше потребностей пациента, так и при ее повышении, если вышеуказанные параметры превышают потребности пациента [5, 10].

Таким образом, при снижении уровня респираторной поддержки возможно как повышение, так и снижение ЭЗ организма. Повышение ЭЗ может происходить за счет увеличения работы дыхания и/или снижения респираторного комфорта. Снижение

ЭЗ возникает тогда, когда более высокий уровень поддержки аппаратом ИВЛ вызывает значимый респираторный дискомфорт, который приводит к повышению ЭЗ организма [3, 8, 17, 18].

Основным отличием данного исследования от представленных работ в табл. 3 была оценка индивидуальных паттернов изменения ЭЗ при снижении уровня респираторной поддержки. В нашем исследовании предиктором успешного прохождения ТСД служило отсутствие эпизодов значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS.

Таблица 3. Комбинации уровней давлений поддержки и количество пациентов, которым проводилась вентиляция в каждой комбинации

Table 3. Combinations of pressure support levels and the number of patients who had ventilation in each combination

Комбинация уровней давления поддержки, см вод. ст.	Количество пациентов (% от общего числа)
20, 16, 12, 8, 4	6 (18%)
16, 12, 8, 4	15 (45%)
12, 8, 4	9 (27%)
16, 12, 8	2 (6%)
12, 8	1 (3%)

Несмотря на то что отсутствие нарастания ЭЗ было достоверным предиктором успешного прохождения ТСД, оценка величины максимального прироста ЭЗ при снижении PS не выявила прогностической ценности этого показателя как в отношении прохождения ТСД, так и в отношении продолжительности ИВЛ. Это отличает результаты представленного исследования от работ N. J. McDonald, S. A. Shikora, K. Miwa, M. Mitsuoka, где именно количественная оценка нарастания метаболических показателей была предиктором успешного прохождения ТСД и/или меньшей продолжительности ИВЛ [12–14, 17, 18]. В исследовании T. E. Oh хотя и выявлены отличия в нарастании потребления кислорода между пациентами, успешно и неуспешно прошедшими ТСД, из-за большой вариабельности этого показателя авторы не рекомендовали его использование как предиктора благоприятного исхода [15]. Большая вариабельность нарастания ЭЗ наблюдалась и в нашем исследовании.

Наиболее схожим по протоколу с нашим исследованием было исследование G. Bellani, где пациенты также подвергались вентиляции при постепенно снижающемся уровне PS [3]. Однако главный результат G. Bellani et al.: более выраженное нарастание метаболических показателей при снижении PS у пациентов, которые успешно прошли ТСД, не был подтвержден в нашей работе.

Также стоит отметить, что данное исследование выполнено на относительно однородной группе нейрохирургических пациентов. Пациенты нейрохирургического профиля практически не представлены в работах, описанных в табл. 3. Всем пациен-

там, включенным в наше исследование, выполнена трахеостомия, что является важной особенностью, так как это позволило устранить факторы, которые могут влиять на ЭЗ организма. Во многих проведенных ранее работах для устранения реакции на интубационную трубку и для синхронизации с аппаратом ИВЛ в принудительном режиме применялась седация, что неизбежно могло оказывать влияние на измеряемые метаболические показатели [8, 9, 17].

Выполненное исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, для определения значимости изменений ЭЗ при снижении PS использовали однофакторный дисперсионный анализ (тест ANOVA). Входные данные для данного теста (ЭЗ конкретного пациента за каждую минуту вентиляции) составляли один временной ряд, поэтому не являлись полностью независимыми, это могло оказать некоторое влияние на итоговые результаты. Во-вторых, дизайн исследования не позволил оценить вклад каждого компонента (работы дыхания

или респираторного комфорта) в изменение ЭЗ при снижении PS, что является важной, но гораздо более трудной задачей. В-третьих, исследование выполнено на сравнительно небольшой группе пациентов. В-четвертых, отлучение от ИВЛ проводили не по единому протоколу, а лечащие врачи в зависимости от клинической ситуации (это обстоятельство могло оказать влияние на отсутствие статистически значимых отличий в отношении продолжительности ИВЛ).

Заключение

В результате анализа индивидуальных паттернов изменения ЭЗ при снижении респираторной поддержки в режиме PSV выявлено, что отсутствие эпизодов статистически значимого повышения ЭЗ при переходе на более низкий уровень PS является высокоспецифичным предиктором прохождения ТСД.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

- Annat G., Viale J.P. Measuring the breathing workload in mechanically ventilated patients // *Intens. Care Med.* - 1990. - Vol. 16, № 7. - P. 418-421.
- Baptistella A. R., Sarmento F. J., da Silva K. R. et al. Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review // *J. Crit. Care.* - 2018. - Vol. 48. - P. 56-62.
- Bellani G., Foti G., Spagnoli E. et al. Increase of oxygen consumption during a progressive decrease of ventilatory support is lower in patients failing the trial in comparison with those who succeed // *Anesthesiology.* - 2010. - Vol. 113, № 2. - P. 378-385.
- Boles J.-M., Bion J., Connors A. et al. Weaning from mechanical ventilation // *Eur. Respir. J.* - 2007. - Vol. 29, № 5. - P. 1033-1056.
- Chonan T., Mulholland M. B., Altose M. D. et al. Effects of changes in level and pattern of breathing on the sensation of dyspnea // *J. Appl. Physiol.* - 1990. - Vol. 69, № 4. - P. 1290-1295.
- Connelly B., Gunzerath L., Knebel A. A pilot study exploring mood state and dyspnea in mechanically ventilated patients // *Heart Lung.* - 2000. - Vol. 29, № 3. - P. 173-179.
- Hess D. R. Mechanical ventilation // *Respiratory Care: Principles and Practice* Hess D. R. - Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2016.
- Hormann C., Baum M., Luz G. et al. Tidal volume, breathing frequency, and oxygen consumption at different pressure support levels in the early stage of weaning in patients without chronic obstructive pulmonary disease // *Intens. Care Med.* - 1992. - Vol. 18, № 4. - P. 226-230.
- Kemper M., Weissman C., Askanazi J. et al. Metabolic and respiratory changes during weaning from mechanical ventilation // *Chest.* - 1987. - Vol. 92, № 6. - P. 979-983.
- Manning H. L., Molinary E. J., Leiter J. C. Effect of inspiratory flow rate on respiratory sensation and pattern of breathing // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* - 1995. - Vol. 151, № 3. - P. 751-757.
- Manning H. L., Shea S. A., Schwartzstein R. M. et al. Reduced tidal volume increases 'air hunger' at fixed PCO₂ in ventilated quadriplegics // *Respir. Physiol.* - 1992. - Vol. 90, № 1. - P. 19-30.
- McDonald N. J., Lavelle P., Gallacher W. N. et al. Use of the oxygen cost of breathing as an index of weaning ability from mechanical ventilation // *Intens. Care Med.* - 1988. - Vol. 14, № 1. - P. 50-54.
- Mitsuoka M., Kinninger K. H., Johnson F. W. et al. Utility of measurements of oxygen cost of breathing in predicting success or failure in trials of reduced mechanical ventilatory support // *Respir. Care.* - 2001. - Vol. 46, № 9. - P. 902-910.
- Annat G., Viale J.P. Measuring the breathing workload in mechanically ventilated patients. *Intens. Care Med.*, 1990, vol. 16, no. 7, pp. 418-421.
- Baptistella A.R., Sarmento F.J., da Silva K.R. et al. Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review. *J. Crit. Care*, 2018, vol. 48, pp. 56-62.
- Bellani G., Foti G., Spagnoli E. et al. Increase of oxygen consumption during a progressive decrease of ventilatory support is lower in patients failing the trial in comparison with those who succeed. *Anesthesiology*, 2010, vol. 113, no. 2, pp. 378-385.
- Boles J.-M., Bion J., Connors A. et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur. Respir. J.*, 2007, vol. 29, no. 5, pp. 1033-1056.
- Chonan T., Mulholland M.B., Altose M.D. et al. Effects of changes in level and pattern of breathing on the sensation of dyspnea. *J. Appl. Physiol.*, 1990, vol. 69, no. 4, pp. 1290-1295.
- Connelly B., Gunzerath L., Knebel A. A pilot study exploring mood state and dyspnea in mechanically ventilated patients. *Heart Lung*, 2000, vol. 29, no. 3, pp. 173-179.
- Hess D.R. Mechanical ventilation. *Respiratory Care: Principles and Practice* Hess D.R. Burlington, Jones & Bartlett Learning, 2016.
- Hormann C., Baum M., Luz G. et al. Tidal volume, breathing frequency, and oxygen consumption at different pressure support levels in the early stage of weaning in patients without chronic obstructive pulmonary disease. *Intens. Care Med.*, 1992, vol. 18, no. 4, pp. 226-230.
- Kemper M., Weissman C., Askanazi J. et al. Metabolic and respiratory changes during weaning from mechanical ventilation. *Chest*, 1987, vol. 92, no. 6, pp. 979-983.
- Manning H.L., Molinary E.J., Leiter J.C. Effect of inspiratory flow rate on respiratory sensation and pattern of breathing. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 1995, vol. 151, no. 3, pp. 751-757.
- Manning H.L., Shea S.A., Schwartzstein R.M. et al. Reduced tidal volume increases 'air hunger' at fixed PCO₂ in ventilated quadriplegics. *Respir. Physiol.*, 1992, vol. 90, no. 1, pp. 19-30.
- McDonald N.J., Lavelle P., Gallacher W.N. et al. Use of the oxygen cost of breathing as an index of weaning ability from mechanical ventilation. *Intens. Care Med.*, 1988, vol. 14, no. 1, pp. 50-54.
- Mitsuoka M., Kinninger K.H., Johnson F.W. et al. Utility of measurements of oxygen cost of breathing in predicting success or failure in trials of reduced mechanical ventilatory support. *Respir. Care*, 2001, vol. 46, no. 9, pp. 902-910.

14. Miwa K., Mitsuoka M., Takamori S. et al. Continuous monitoring of oxygen consumption in patients undergoing weaning from mechanical ventilation // *Respiration*. - 2003. - Vol. 70, № 6. - P. 623-630.
15. Oh T.E., Bhatt S., Lin E. S. et al. Plasma catecholamines and oxygen consumption during weaning from mechanical ventilation // *Intens. Care Med.* - 1991. - Vol. 17, № 4. - P. 199-203.
16. Roussos C., Campbell E. J. M. Respiratory muscle energetics // *Comprehensive Physiology*. - John Wiley & Sons, Inc., 2011.
17. Shikora S. A., Benotti P. N., Johannigman J. A. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio // *Arch. Surg.* - 1994. - Vol. 129, № 3. - P. 269-274.
18. Shikora S. A., Bistran B. R., Borlase B. C. et al. Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation // *Crit. Care Med.* - 1990. - Vol. 18, № 2. - P. 157-162.
19. Walsh T. S., Monaco F. Gas Exchange Measurement in the ICU. - New York, NY. - Springer New York, 2005. - P. 632-643.
20. Weir J. B. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism // *J. Physiol.* - 1949. - Vol. 109, № 1-2. - P. 1-9.
21. Yang K. L., Tobin M. J. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation // *N. Engl. J. Med.* - 1991. - Vol. 324, № 21. - P. 1445-1450.
14. Miwa K., Mitsuoka M., Takamori S. et al. Continuous monitoring of oxygen consumption in patients undergoing weaning from mechanical ventilation. *Respiration*, 2003, vol. 70, no. 6, pp. 623-630.
15. Oh T.E., Bhatt S., Lin E.S. et al. Plasma catecholamines and oxygen consumption during weaning from mechanical ventilation. *Intens. Care Med.*, 1991, vol. 17, no. 4, pp. 199-203.
16. Roussos C., Campbell E.J.M. Respiratory muscle energetics. *Comprehensive Physiology*. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
17. Shikora S.A., Benotti P.N., Johannigman J.A. The oxygen cost of breathing may predict weaning from mechanical ventilation better than the respiratory rate to tidal volume ratio. *Arch. Surg.*, 1994, vol. 129, no. 3, pp. 269-274.
18. Shikora S.A., Bistran B.R., Borlase B.C. et al. Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation. *Crit. Care Med.*, 1990, vol. 18, no. 2, pp. 157-162.
19. Walsh T.S., Monaco F. Gas Exchange Measurement in the ICU. New York, NY, Springer New York, 2005, pp. 632-643.
20. Weir J.B. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.*, 1949, vol. 109, no. 1-2, pp. 1-9.
21. Yang K.L., Tobin M.J. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N. Engl. J. Med.*, 1991, vol. 324, no. 21, pp. 1445-1450.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко» МЗ РФ, 125047, Москва, 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Савченко Ян Вячеславович

врач – анестезиолог-реаниматолог.

E-mail: yanssavchenko@gmail.com

Горячев Александр Станиславович

врач – анестезиолог-реаниматолог.

E-mail: agoryachev@nsi.ru

Савин Иван Анатольевич

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением реанимации.

E-mail: savin@nsi.ru

Крылов Кирилл Юрьевич

кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник.

E-mail: kkrylov@nsi.ru

Полупан Александр Александрович

кандидат медицинских наук, анестезиолог-реаниматолог.

E-mail: apolupan@nsi.ru

Бирг Татьяна Михайловна

врач – анестезиолог-реаниматолог.

E-mail: tbirg@nsi.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

N. N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, 16, 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow, 125047.

Yan V. Savchenko

Anesthesiologist and Emergency Physician.

Email: yanssavchenko@gmail.com

Aleksandr S. Goryachev

Anesthesiologist and Emergency Physician.

Email: agoryachev@nsi.ru

Ivan A. Savin

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Intensive Care Department.

Email: savin@nsi.ru

Kirill Yu. Krylov

Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher.

Email: kkrylov@nsi.ru

Aleksandr A. Polupan

Candidate of Medical Sciences, Anesthesiologist and Emergency Physician.

Email: apolupan@nsi.ru

Tatyana M. Birg

Anesthesiologist and Emergency Physician.

Email: tbirg@nsi.ru