



# ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДИАФРАГМЫ У ПАЦИЕНТОВ С ТРАВМОЙ СПИННОГО МОЗГА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА НА ЭТАПАХ РЕСПИРАТОРНОЙ ПОДДЕРЖКИ

**И.А. Стаценко, М.Н. Лебедева, А.В. Пальмаш**

*Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия*

**Цель исследования.** Анализ роли функционального состояния диафрагмы у пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне на этапах респираторной поддержки и обоснование дополнительных критериев готовности перевода на самостоятельное дыхание.

**Материал и методы.** Проведена оценка состояния диафрагмы методом УЗИ у 24 пациентов с травмой спинного мозга. Анализировали экскурсию диафрагмы при спокойном дыхании, экскурсию и толщину диафрагмы при форсированном дыхании, объем форсированного выдоха с момента поступления и до прекращения ИВЛ.

**Результаты.** В 1-е сут на фоне ИВЛ отмечалось значимое снижение экскурсии и толщины диафрагмы при форсированном дыхании ( $p = 0,002$ ;  $p = 0,008$ ), которое сохранялось до 3 сут ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ), к 5-м сут проведения ИВЛ показатели повышались до уровня исходных ( $p = 0,112$ ;  $p = 0,433$ ), к 10-м сут — превышали исходные ( $p < 0,001$ ). При сравнении экскурсии и толщины диафрагмы при переводе пациентов на самостоятельное дыхание с данными при поступлении получена значимая разница ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Динамика показателей объема форсированного выдоха была аналогичной показателям экскурсии диафрагмы при форсированном дыхании.

**Заключение.** Особенностью функционального состояния диафрагмы у пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне в остром периоде явилось значимое снижение экскурсии диафрагмы и развитие вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы, связанной с проведением ИВЛ в замещающих режимах. Тактика ранней трахеостомии и использование вспомогательных режимов вентиляции определяли отсутствие прогрессирования вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы при длительной ИВЛ. Наличие сильной корреляционной связи между экскурсией диафрагмы при форсированном дыхании и объемом форсированного выдоха позволяет заключить, что эти показатели могут являться объективными дополнительными критериями готовности пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне к самостоятельному дыханию, отражая не только функциональное состояние диафрагмы, но и состояние легочной ткани.

**Ключевые слова:** травма спинного мозга, дыхательная недостаточность, дисфункция диафрагмы, искусственная вентиляция легких, УЗИ диафрагмы, отлучение от ИВЛ.

**Для цитирования:** Стаценко И.А., Лебедева М.Н., Пальмаш А.В. Функциональное состояние диафрагмы у пациентов с травмой спинного мозга шейного отдела позвоночника на этапах респираторной поддержки // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 2. С. 40–46.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.2.40-46>.

## FUNCTIONAL STATE OF THE DIAPHRAGM IN PATIENTS WITH CERVICAL SPINAL CORD INJURY AT THE STAGES OF RESPIRATORY SUPPORT

*I.A. Statsenko, M.N. Lebedeva, A.V. Palmash*

*Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia*

**Objective.** To analyze the role of the functional state of the diaphragm in patients with cervical spinal cord injury at the stages of respiratory support and to substantiate additional criteria for their readiness to transfer to spontaneous breathing.

**Material and Methods.** The state of the diaphragm was assessed by ultrasound in 24 patients with spinal cord injury. The excursion of the diaphragm during quiet breathing, the excursion and thickness of the diaphragm during forced breathing, and the change in forced expiratory volume from the moment of admission till the end of mechanical ventilation were analyzed.

**Results.** On the first day, on the background of mechanical ventilation, there was a significant decrease in the excursion and thickness of the diaphragm during forced breathing ( $p = 0.002$ ;  $p = 0.008$ ) which persisted up to 3 days ( $p < 0.001$ ;  $p < 0.001$ ); by the fifth day of mechanical ventilation, the indicators increased to the initial levels ( $p = 0.112$ ;  $p = 0.433$ ); and by the 10th day they exceeded the initial values ( $p < 0.001$ ). When comparing the excursion and thickness of the diaphragm during the transfer of patients to spontaneous breathing with the data on their admission, a significant difference was obtained ( $p < 0.001$ ;  $p < 0.001$ ). The dynamics of forced expiratory volume indicators was similar to those of diaphragm excursion during forced breathing.

**Conclusion.** A peculiarity of the functional state of the diaphragm in patients with cervical spinal cord injury in the acute period was a significant decrease in diaphragm excursion and the development of ventilator-induced diaphragm dysfunction (VIDD) associated with mechanical ventilation in replacement modes. The tactics of early tracheostomy and the use of auxiliary ventilation modes determined the absence of progression of VIDD during prolonged mechanical ventilation. The presence of a strong correlation between the diaphragm excursion during forced breathing and the forced expiratory volume allows concluding that these indicators can be additional objective criteria for the readiness of patients with cervical SC injury to transfer to spontaneous breathing, since they reflect not only the functional state of the diaphragm, but also the state of the lung tissue.

**Key Words:** spinal cord injury, respiratory failure, diaphragm dysfunction, mechanical ventilation, diaphragm ultrasound, weaning from mechanical ventilation.

Please cite this paper as: Statsenko IA, Lebedeva MN, Palmash AV. Functional state of the diaphragm in patients with cervical spinal cord injury at the stages of respiratory support. *Hir. Pozvonoc.* 2022;19(2):40–46. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.2.40-46>.

Наличие острой дыхательной недостаточности при травматическом повреждении спинного мозга на шейном уровне обусловлено параличом дыхательной мускулатуры и дисфункцией диафрагмы, обеспечивающей отрицательное давление вдоха, необходимое для вентиляции легких. В зависимости от уровня повреждения спинного мозга развивается паралич или парез диафрагмы [1]. Резкое изменение механики дыхания определяет необходимость применения методов инвазивной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) [1, 2]. Потребность в ИВЛ у пациентов с травмой спинного мозга является одной из самых высоких среди общей когорты пациентов, находящихся в отделениях реанимации и интенсивной терапии [2, 3].

По данным метаанализа [2], опубликованного в 2021 г. и включавшего в себя 39 исследований общей численностью 14 637 клинических наблюдений, в проведении ИВЛ, длительность которой в среднем составила 30,9 сут, при полном функциональном повреждении спинного мозга на уровне шейного отдела нуждались 90 % пациентов. Ранее мы получили вполне сопоставимые результаты: длительная ИВЛ требовалась 92 % пациентов при тяжести повреждения спинного мозга ASIA A [4].

Однако использование ИВЛ в заместительном режиме отрицает активное участие диафрагмы в акте дыхания, что может привести к развитию в ней процессов мышечной атрофии. Присоединение осложнений со стороны легких на этом фоне способствует нарастанию слабости диафрагмы и увеличе-

нию продолжительности ИВЛ. У 15 % пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне сохранялась пожизненная зависимость от респираторной терапии [2].

Задача прекращения длительной ИВЛ является одной из наиболее сложных в интенсивной терапии. Она становится еще более сложной у пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне из-за сохраняющейся генерализованной мышечной слабости [3]. При необоснованно раннем переводе пациента на самостоятельное дыхание в 20 % случаев на фоне неэффективной респираторной функции возникает необходимость повторного перевода на ИВЛ, который сопряжен как с увеличением продолжительности нахождения в ОРИТ и общей длительности госпитализации, так и с повышением госпитальной летальности [5, 6]. С целью решения задачи максимально точного определения готовности пациента к переводу на самостоятельное дыхание, в дополнение к общепринятым показаниям для прекращения ИВЛ, используют оценку функционального состояния диафрагмы методом ультразвукового исследования [7]. При этом основными изучаемыми характеристиками являются экскурсия диафрагмы и индекс утолщения диафрагмы. По данным литературы [8], в общей популяции пациентов, находящихся на длительной ИВЛ, чувствительность методики при переводе на самостоятельное дыхание к экскурсии и индексу утолщения составляет 0,786 и 0,893, а специфичность 0,711 и 0,796 соответственно.

Однако, несмотря на большой интерес к оценке функционального состояния диафрагмы на фоне длительной ИВЛ методом УЗИ в общей популяции пациентов, в отношении пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне вопрос остается малоизученным.

В качестве гипотезы исследования выступило предположение, что показатели экскурсии диафрагмы при форсированном дыхании (ЭДФД) и толщины диафрагмы при форсированном дыхании (ТДФД) при переводе пациентов с травмой спинного мозга на самостоятельное дыхание, достигающие или превышающие исходные в совокупности с общепринятыми критериями готовности к прекращению ИВЛ, позволяют снизить процент повторного перевода на ИВЛ.

Цель исследования – анализ роли функционального состояния диафрагмы у пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне на этапах респираторной поддержки и обоснование дополнительных критериев готовности перевода на самостоятельное дыхание.

## Материал и методы

В проспективное исследование вошли 24 пациента с травмой спинного мозга на уровне шейного отдела позвоночника, получивших высокотехнологичную медицинскую помощь в 2019–2021 гг. Критерии включения: тяжесть повреждения спинного мозга типов А и В по ASIA; потребность в проведении ИВЛ более 24 ч. Крите-

рии исключения: тяжесть повреждения спинного мозга по ASIA типов C и D. Оценка тяжести повреждения спинного мозга проводили по классификации Американской ассоциации по спинальным повреждениям и международного общества по параличу [9].

По неотложным показаниям всем пациентам в остром периоде травмы были выполнены декомпрессивно-стабилизирующие операции. После завершения хирургического этапа пациентов переводили в ОРИТ на продленную ИВЛ. Подход к мероприятиям интенсивной терапии по принятому в клинике протоколу был одинаков у всех пациентов и включал в себя комплекс лечебных воздействий, направленных на коррекцию имеющихся органных дисфункций. Параметры респираторной поддержки подбирали согласно концепции протективной ИВЛ. При выборе режима ИВЛ предпочтение отдавали режимам с управлением по давлению с возможностью самостоятельных вдохов пациента (BiPAP, CPAP, PS).

В ходе исследования анализировали возраст, пол, длительность ИВЛ, сроки нахождения в ОРИТ, общую длительность госпитализации, динамику основных показателей функционального состояния диафрагмы: экскурсию диафрагмы при спокойном дыхании (ЭДСД), ЭДФД, ТДФД. Контрольные точки исследования: поступление пациентов в приемное отделение, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25-е сут наблюдения, прекращение ИВЛ.

Функциональное состояние диафрагмы оценивали при помощи портативного аппарата УЗИ GE-LOGIQe (США). Исследование проводили в горизонтальном положении пациента, использовали секторальный датчик, который располагали по срединно-ключичной линии в подреберье, окном для визуализации служила печень. Направление датчика – максимально перпендикулярно своду диафрагмы. После корректной визуализации диафрагмы в В-режиме (настройка качества изображения) осуществляли пере-

вод в М-режим (исследование анатомических структур в развертке по оси времени) для отображения движения диафрагмы по выбранной линии. Диафрагма на мониторе аппарата УЗИ визуализировалась как гиперэхогенная линия. Измерение ТДФД проводили по наружным краям на высоте форсированного вдоха, ЭДФД – по наружному краниальному краю диафрагмы с точки покоя диафрагмы до точки пика форсированного вдоха, ЭДСД – по краниальному наружному краю с точки покоя до точки максимальной высоты экскурсии при спокойном дыхании.

Исследование диафрагмы выполняли при самостоятельном дыхании в момент поступления пациента в стационар. Послеоперационный мониторинг проводили при восстановлении сознания и переводе пациента на время исследования в режим самостоятельного дыхания, что позволяло нивелировать влияние аппарата ИВЛ.

Из-за существующих неоднородностей в технике проведения УЗИ диафрагмы и с целью минимизации возможных ошибок в полученных результатах исследование диафрагмы выполняли 2 специалиста с четким соблюдением описанной технологии. Кроме того, мы сочли необходимым определить референсные значения изучаемых показателей для применяемой технологии у 30 здоровых добровольцев.

Выполненное исследование соответствует этическим стандартам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» и Приказу Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 200н «Об утверждении правил надлежащей клинической практики». Исследования одобрены комитетом по биомедицинской этике учреждения. Данные всех пациентов деперсонализированы.

Статистические расчеты проводили в программе RStudio на языке R (версии 3.6.1).

Непрерывные показатели испытывали на согласие с законом нор-

мального распределения критерием Шапиро – Уилка. Из-за малого числа непрерывных показателей, удовлетворяющих условию применимости параметрических критериев, в разных временных точках у пациентов сравнение проводили непараметрическим критерием Вилкоксона, а в группах больных и здоровых пациентов применяли непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Парные ассоциации непрерывных показателей исследовали путем расчета коэффициентов корреляции Спирмена с вычислением достигнутого уровня значимости  $p$ .

Для описательной статистики непрерывных данных рассчитывали медиану [первый квартиль; третий квартиль]; бинарные и категориальные данные представлены в виде «количество пациентов (процент от общего количества пациентов в группе)».

Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости 0,05, то есть различие считалось статистически значимым при достигнутом уровне  $p < 0,05$ .

## Результаты

Большинство пострадавших, включенных в исследование, составили мужчины – 22 (91,6 %). Средний возраст пациентов –  $38,67 \pm 15,03$  года. Пациенты с тяжестью повреждения спинного мозга ASIA A – 18 (75 %), ASIA B – 6 (25 %).

Изучаемые показатели функционального состояния диафрагмы при поступлении в сравнении с референсными значениями представлены в табл.

При сравнении показателей ЭДСД не было получено статистически значимой разницы с референсными значениями, в то время как показатели ЭДФД оказались значимо ниже. Показатели ТДФД даже несколько превышали референсные значения, что, по нашему мнению, явилось следствием реакции диафрагмы путем большего сокращения компенсировать утрату функции вспомогательной дыха-

Таблица

Функциональное состояние диафрагмы пациентов при поступлении (n = 24)

Оцениваемые показатели	При поступлении МЕД – (ИКИ)	Референсные значения МЕД – (ИКИ)	Критерий Вилкоксона (p-уровень)
Экскурсия диафрагмы при спокойном дыхании, см	2,23 [1,87; 2,4]	1,95 [1,78; 2,28]	0,428
Экскурсия диафрагмы при форсированном дыхании, см	4,70 [4,18; 5,15]	7,40 [6,45; 8,12]	<0,001*
Толщина диафрагмы при форсированном дыхании, см	0,55 [0,51; 0,57]	0,50 [0,47; 0,53]	0,005*

МЕД – медиана; ИКИ – интерквартильный интервал; \* статистически значимые различия.

тельной мускулатуры (межреберные и грудные мышцы, мышцы брюшной стенки).

Анализ изучаемых показателей функционального состояния диафрагмы в динамике показал, что в 1-е сут послеоперационного наблюдения на фоне ИВЛ отмечалось значимое снижение ЭДФД и ТДФД в сравнении с данными, полученными при поступлении пациента ( $p = 0,002$ ;  $p = 0,008$ ), которое сохранялось на 3-и сут ИВЛ ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Динамика представленных показателей указывает на развитие вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы, связанной с проведением респираторной поддержки в замещающих режимах вентиляции на фоне медикаментозной седации с целью синхронизации пациентов с аппаратом ИВЛ. В 1–3-и сут пациентам проводили трахеостомию, которая позволяла прекратить медикаментозную седацию и использовать более мягкие режимы ИВЛ с возможностью самостоятельных вдохов пациента. На 5-е сут респираторной поддержки показатели ЭДФД и ТДФД повышались до уровня исходных ( $p = 0,112$ ;  $p = 0,433$ ), а к 10-м сут даже превышали исходные значения ( $p < 0,001$ ), далее эта тенденция сохранялась до решения вопроса о прекращении ИВЛ. При сравнении ТДФД и ЭДФД в момент перевода пациентов на самостоятельное дыхание с данными при поступлении в стационар получена статистически значимая разница ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Анализ динамики ЭДСД показал статистически значимые различия с показателями при поступлении только на момент прекращения ИВЛ ( $p = 0,002$ ; рис. 1).

Показатели объема форсированного выдоха демонстрировали динамику, аналогичную показателям ЭДФД (рис. 2). Объем форсированного выдоха максимально снижался на 3-и сут ИВЛ ( $p < 0,001$ ) с последующим восстановлением до уровня исходных значений на 5-е сут ( $p = 0,341$ ). На 10-е сут ИВЛ и при переводе пациентов на самостоятельное дыхание показатели объема форсированного выдоха значимо превышали исходные значения ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ).

Выполненный расчет коэффициента корреляции Спирмена между объемом форсированного выдоха и ЭДФД показал положительную связь на всех этапах исследования. На 5, 7, 25-е сут выявлена сильная корреляционная

связь ( $r = 0,87$ ;  $p < 0,001$ ,  $r = 0,72$ ;  $p < 0,001$ ,  $r = 0,94$ ;  $p = 0,005$ ). Средняя корреляционная связь выявлена на 1, 3, 15-е сут наблюдения и при переводе пациента на самостоятельное дыхание ( $r = 0,52$ ,  $p < 0,009$ ;  $r = 0,67$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,62$ ,  $p = 0,033$ ;  $r = 0,65$ ,  $p = 0,001$ ).

При достижении общепринятых критериев готовности пациентов к переводу на самостоятельное дыхание и при достижении текущих значений подвижности и толщины диафрагмы уровня предоперационных показателей или их превышении ИВЛ прекращали. Повторный перевод на ИВЛ потребовался 1 (4,1 %) пациенту.

Общая продолжительность ИВЛ составила  $19,79 \pm 14,40$  сут. Длитель-

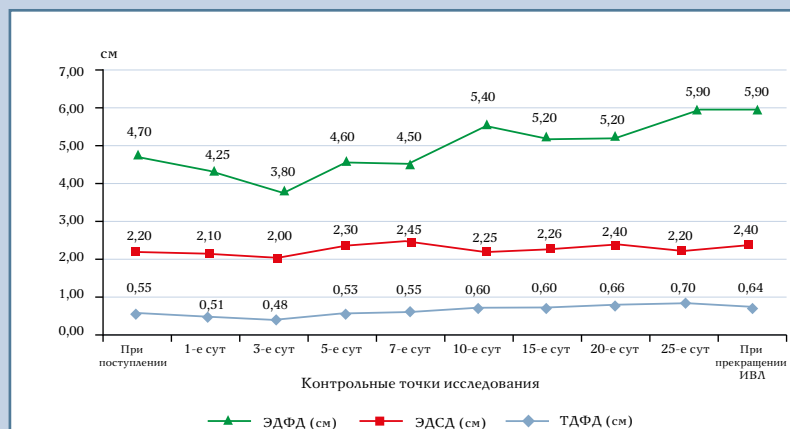
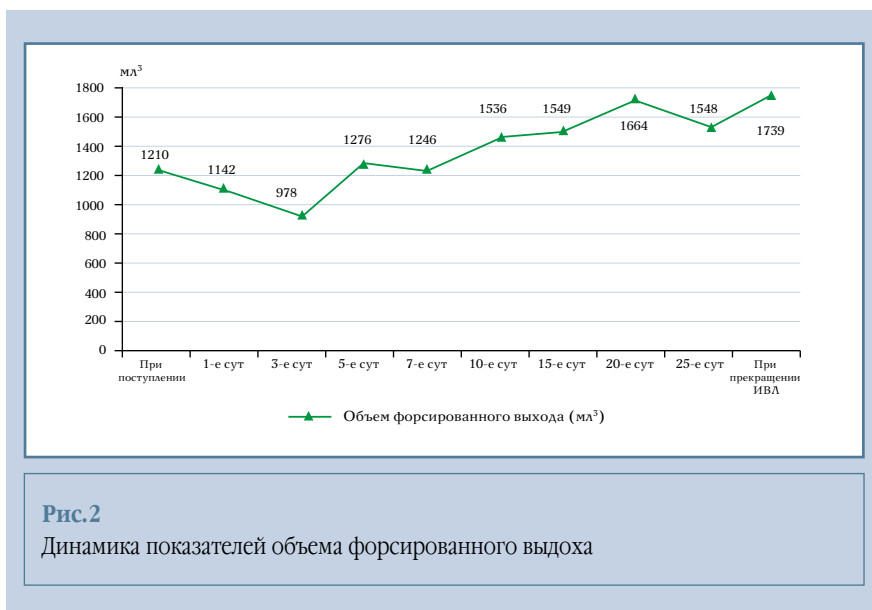


Рис. 1

Динамика экскурсии и толщины диафрагмы у пациентов с позвоночно-спинно-мозговой травмой шейного отдела: ЭДФД – экскурсия диафрагмы при форсированном дыхании; ЭДСД – экскурсия диафрагмы при спокойном дыхании; ТДФД – толщина диафрагмы при форсированном дыхании





ность нахождения в ОРИТ и общая длительность госпитализации составили  $34,25 \pm 16,51$  и  $50,21 \pm 20,53$  сут соответственно.

## Обсуждение

Основными общепринятыми критериями в интенсивной терапии для прекращения ИВЛ являются купирование острой фазы основного заболевания и развившихся осложнений, стабилизация гемодинамики и неврологического статуса, отсутствие воспалительных изменений в легких, наличие адекватного кашлевого толчка. В отношении пациентов с травмой спинного мозга данные критерии не показали высокой эффективности. При анализе литературных источников не встретилось исследований или четко обозначенных клинических рекомендаций относительно критериев прекращения ИВЛ у изучаемой категории пациентов. При этом можно выделить наиболее часто рекомендуемые к достижению параметры: жизненная емкость легких больше 10 мл/кг, частота дыхания – 12–20 в мин, минутная вентиляция менее 10 л/мин,  $PaO_2$  больше 80 мм рт. ст.,  $PaCO_2$  меньше 45 мм рт. ст. [10].

По данным метаанализа [5], включившего шесть исследований общей численностью 387 пациентов с острой

травмой шейного отдела спинного мозга, средняя частота неудачных попыток перевода пациентов на самостоятельное дыхание после длительной ИВЛ составляет 20–25 %, а в некоторых исследованиях – 60 %. Столь высокие показатели неудачных попыток перевода пациентов с травмой спинного мозга на самостоятельное дыхание обусловлены особенностями патогенеза дыхательной недостаточности, в частности, диафрагма зачастую остается единственной дыхательной мышцей, обеспечивающей почти 75 % легочной вентиляции у данной категории пациентов. Сохранение ее функционального состояния является одной из основных задач при определении тактики ИВЛ [3, 10].

Проведенное исследование показало, что уже после 24 ч ИВЛ по данным УЗИ регистрировалась вентилятор-индуцированная дисфункция диафрагмы. На 3-и сут наблюдения она становилась максимально выраженной. Полученные результаты согласуются с литературными сведениями, которые также указывают на развитие вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы после 24-часового проведения ИВЛ [11–14]. Отличительной особенностью полученных данных является регресс вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы уже на 5-е сут послеоперацион-

ного наблюдения. Данного результата, по нашему мнению, удалось добиться проведением ранней трахеостомии с последующим отказом от медикаментозной седации и применением режимов ИВЛ, не подавляющих самостоятельные вдохи пациента.

Полученные статистически значимые различия изучаемых показателей на этапах наблюдения дают основание полагать, что показатели ЭДФД и ТДФД являются маркерами развития компенсаторных механизмов имеющейся дыхательной недостаточности, свидетельствуют о правильно выбранной тактике использования вспомогательных режимов ИВЛ и могут успешно использоваться в качестве дополнительных критериев при определении готовности пациента к самостоятельному дыханию. Существует ряд ранее опубликованных исследований, подтверждающих развитие аналогичных компенсаторных механизмов при наличии дыхательной недостаточности у пациентов с осложненной травмой шейного отдела позвоночника [15, 16].

По данным литературы [16, 17] известно, что спирометрические показатели у изучаемой категории пациентов значительно снижены. Объем форсированного выдоха, показавший достаточно сильную корреляцию с ЭДФД в нашем исследовании, может являться инструментом оценки состояния дыхательной системы, отражая в себе не только функциональное состояние диафрагмы, но и состояние легочной ткани.

Об эффективности оценки функционального состояния диафрагмы методом УЗИ у пациентов с травмой спинного мозга на уровне шейного отдела в выполненном исследовании свидетельствует малое количество неудачных случаев отлучения пациентов от ИВЛ.

Положительной стороной исследования является то обстоятельство, что мы определили референсные значения для показателей функционального состояния диафрагмы при конкретно применяемой методике УЗИ

и оценили функциональное состояние диафрагмы в динамике – от момента поступления в стационар до перевода пациента на самостоятельное дыхание. Однако имеется и ряд ограничений. Во-первых, небольшое количество клинических наблюдений, что обусловлено низкой встречаемостью позвоночно-спинномозговой травмы с тяжестью повреждения спинного мозга ASIA A и B. Во-вторых, мы не учитывали влияния половых различий, поскольку в исследование вошли только две пациентки, а абсолютное большинство составили пациенты мужского пола. В-третьих, оценивали лишь функциональное состояние правого купола диафрагмы, хотя с данным ограничением сталкиваются и другие исследователи в связи с отсутствием адекватного акустического окна для проведения УЗИ левого купола диафрагмы. Указанные ограничения, вероятнее всего, повлияли на диагностическую точность исследования и, следовательно, этот

факт подчеркивает необходимость дальнейших, в том числе рандомизированных, исследований с целью применения полученных обобщений для всех пациентов с шейной травмой спинного мозга.

### Заключение

Основной особенностью функционального состояния диафрагмы у пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне в остром периоде явилось значимое снижение ЭДФД и развитие вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы, связанной с проведением ИВЛ в замещающих режимах на фоне медикаментозной седации. Тактика ранней трахеостомии и использование вспомогательных режимов вентиляции определяли отсутствие прогрессирования вентилятор-индуцированной дисфункции диафрагмы при длительной ИВЛ.

При достижении общепринятых критериев готовности пациентов к переводу на самостоятельное дыхание и текущих значений ЭДФД и ТДФД не ниже уровня предоперационных показателей проведение ИВЛ может быть прекращено.

Наличие сильной корреляционной связи ЭДФД с объемом форсированного выдоха позволяет заключить, что эти показатели могут являться объективными дополнительными критериями готовности пациентов с травмой спинного мозга на шейном уровне к самостоятельному дыханию, отражая не только функциональное состояние диафрагмы, но и состояние легочной ткани.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### Литература/References

- Berney S, Bragge P, Granger C, Opdam H, Denchy L. The acute respiratory management of cervical spinal cord injury in the first 6 weeks after injury: a systematic review. *Spinal Cord*. 2011;49:17–29. DOI: 10.1038/sc.2010.39.
- Schreiber AF, Garlasco J, Vieira F, Lau YH, Stavi D, Lightfoot D, Rigamonti A, Burns K, Friedrich JO, Singh JM, Brochard LJ. Separation from mechanical ventilation and survival after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intensive Care*. 2021;11:149. DOI: 10.1186/s13613-021-00938-x.
- Berlowitz DJ, Wadsworth B, Ross J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury. *Breathe (Sheff)*. 2016;12:328–340. DOI: 10.1183/20734735.012616.
- Стаценко И.А., Лебедева М.Н., Первухин С.А., Пальмаш А.В., Рерих В.В., Самохин А.Г., Волков С.Г. Особенности течения осложненной травмы шейного отдела позвоночника в зависимости от срочности выполнения декомпрессии спинного мозга // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28193>. [Statsenko IA, Lebedeva MN, Pervukhin SA, Palmash AV, Rerikh VV, Samokhin AG, Volkov SG. The peculiarities of clinical course of complicated cervical spine injury depending on the urgency of spinal cord decompression. *Modern problems of science and education*. 2018;(6). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28193>].
- Wilson M, Nickels M, Wadsworth B, Kruger P, Semciw A. Acute cervical spinal cord injury and extubation failure: A systematic review and meta-analysis. *Aust Crit Care*. 2020;33:97–105. DOI: 10.1016/j.aucc.2019.01.007.
- Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alia I, Brochard L, Stewart TE, Benito S, Epstein SK, Apezteguia C, Nightingale P, Arroliga AC, Tobin MJ. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA*. 2002;287:345–355. DOI: 10.1001/jama.287.3.345.
- Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н. Возможности ультразвукового исследования диафрагмы // Терапевтический архив. 2019. Т. 91. № 3. С. 86–92. [Neklyudova GV, Avdeev SN. Possibilities of ultrasound research of the diaphragm. *Therapeutic Archive*. 2019;91(3):86–92]. DOI: 10.26442/00403660.2019.03.000129.
- Li C, Li X, Han H, Cui H, Wang G, Wang Z. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e10968. DOI: 10.1097/MD.00000000000010968.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, Johansen M, Jones L, Krassioukov A, Mulcahey MJ, Schmidt-Read M, Wang W. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med*. 2011;34:535–546. DOI: 10.1179/204577211X13207446293695.
- Chang JE, Park SH, Do SH, Song IA. Successful weaning from mechanical ventilation in the quadriplegia patient with C2 spinal cord injury undergoing C2-4 spine laminoplasty – A case report. *Korean J Anesthesiol*. 2013;64:545–549. DOI: 10.4097/kjae.2013.64.6.545.
- Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM. Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest*. 2012;142:1455–1460. DOI: 10.1378/chest.11-1638.
- Schepens T, Verbrugghe W, Dams K, Corthouts B, Parizel PM, Jorens PG. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study. *Crit Care*. 2015;19:422. DOI: 10.1186/s13054-015-1141-0.
- Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S, Cabrini L, Landoni G, Zangrillo A. Mechanical ventilation and diaphragmatic atrophy in critically ill patients: an ultrasound study. *Crit Care Med*. 2016;44:1347–1352. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001657.

14. Бабаев М.А., Быков Д.Б., Бирг Т.М., Выжигина М.А., Еременко А.А. ИВЛ-индуцированная дисфункция диафрагмы (обзор) // Общая реаниматология. 2018;14(3):82–103. [Babaev MA, Bykov DB, Birg TM, Vyzhigina MA, Eremenko AA. Ventilator-induced diaphragm dysfunction (review). General Reanimatology. 2018;14(3):82–103]. DOI: 10.15360/1813-9779-2018-3-82-103.
15. Boussuges A, Rives S, Finance J, Bregon F. Assessment of diaphragmatic function by ultrasonography: Current approach and perspectives. World J Clin Cases. 2020;8:2408–2424. DOI: 10.12998/wjcc.v8.i12.2408.

**Адрес для переписки:**

Стаценко Иван Анатольевич  
630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,  
Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна,  
Stacenco\_i@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2022

Рецензирование пройдено 15.05.2022

Подписано в печать 19.05.2022

16. Malas FU, Koseoglu F, Kara M, Ece H, Aytekin M, Ozturk GT, Ozcahar I, Ulasli AM. Diaphragm ultrasonography and pulmonary function tests in patients with spinal cord injury. Spinal Cord. 2019;57:679–683. DOI: 10.1038/s41393-019-0275-3.
17. Zhu Z, Li J, Yang D, Gao F, Du L, Yang M. Ultrasonographic evaluation of diaphragm thickness and excursion in patients with cervical spinal cord injury. J Spinal Cord Med. 2021;44:742–747. DOI: 10.1080/10790268.2019.1669955.

**Address correspondence to:**

Statsenko Ivan Anatolyevich  
Novosibirsk Research Institute  
of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan,  
17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,  
Stacenco\_i@mail.ru

Received 23.03.2022

Review completed 15.05.2022

Passed for printing 19.05.2022

Иван Анатольевич Стаценко, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0003-2860-9566, Stacenco\_i@mail.ru;

Майя Николаевна Лебедева, д-р мед. наук, начальник научно-исследовательского отделения анестезиологии и реаниматологии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-9911-8919, MLebedeva@niito.ru;

Алексей Викторович Пальмаш, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-2454-477X, alexpslmaspb@gmail.com.

Ivan Anatolyevich Statsenko, anesthesiologist-intensivist of the intensive care unit, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0003-2860-9566, Stacenco\_i@mail.ru;

Maya Nikolayevna Lebedeva, DMSc, Head of Research Department of Anesthesiology and Reanimatology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-9911-8919, MLebedeva@niito.ru;

Aleksey Viktorovich Palmash, anesthesiologist-intensivist of the intensive care unit, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-2454-477X, alexpslmaspb@gmail.com.