

Показатели функции диафрагмы у пациентов с COVID-19 тяжелого течения

А. Ю. Яковлев¹, А. А. Певнев², М. С. Белоус^{1*},
В. Н. Максимычев², С. И. Чистяков¹

¹ Нижегородская областная клиническая больница им. Н.А. Семашко,
Россия, 603126, г. Нижний Новгород, ул. Родионова, д. 190

² Городская клиническая больница № 30,
Россия, 603157, г. Нижний Новгород, ул. Берёзовская, д. 85А

Diaphragm Function Parameters in Patients with Severe COVID-19

Alexey Y. Yakovlev¹, Alexey A. Pevnev², Mikhail S. Belous^{1*},
Valery N. Maksimych², Sergey I. Chistyakov¹

¹ N. A. Semashko Nizhny Novgorod Regional Clinical Hospital,
190 Rodionova Str., 603126 Nizhny Novgorod, Russia

² City Clinical Hospital № 30,
85A Berezovskaya Str., 603157 Nizhny Novgorod, Russia

Для цитирования: А. Ю. Яковлев, А. А. Певнев, М. С. Белоус, В. Н. Максимычев, С. И. Чистяков. Показатели функции диафрагмы у пациентов с COVID-19 тяжелого течения. *Общая реаниматология*. 2022; 18 (1): 17–22. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2022-1-17-22> [На русск. и англ.]

Резюме

Цель исследования. Оценить возможности прогнозирования перевода на ИВЛ пациентов с новой коронавирусной инфекцией тяжелого течения с помощью ультразвуковой оценки функции диафрагмы.

Материалы и методы. В открытое проспективное пилотное исследование включили 60 пациентов с диагнозом новая коронавирусная инфекция, которым в момент поступления в отделение реанимации и интенсивной терапии (оценка по шкале NEWS более 6 баллов) проводили ультразвуковую оценку экскурсии диафрагмы, толщины диафрагмы и рассчитывали коэффициент утолщения диафрагмы. В 1-ю группу ($n=30$) вошли пациенты, не нуждавшиеся в переводе на ИВЛ, во 2-ю группу ($n=30$) — пациенты, в последующем переведенные на ИВЛ.

Результаты. У пациентов II группы показатели функции диафрагмы (величина экскурсии слева ($p<0,001$), величина экскурсии справа ($p<0,001$), толщина диафрагмы на вдохе ($p=0,043$), коэффициент утолщения ($p<0,001$)) были значимо меньше показателей пациентов 1-й группы.

Заключение. Снижение экскурсии диафрагмы менее 17,1 мм справа является предиктором перевода пациентов с новой коронавирусной инфекцией на ИВЛ (чувствительность 93,3%, специфичность — 76,7%). При морфологическом исследовании умерших пациентов 2-й группы выявили перичеллюлярный, периваскулярный отек, тромбоз венул, отек эндонервия, сладжи в просвете артериол.

Ключевые слова: новая коронавирусная инфекция; COVID-19; осложнения; диафрагма

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Summary

The aim of the study was to investigate the feasibility of predicting the need for mechanical ventilation in patients with severe COVID-19 disease using ultrasound assessment of diaphragm function.

Material and methods. An open prospective pilot study included 60 patients diagnosed with the novel coronavirus infection, who, at the time of admission to the intensive care unit (NEWS score > 6), underwent ultrasound assessment of diaphragm excursion, thickness and the diaphragm thickening fraction. Group 1 ($n = 30$) included patients who did not require mechanical ventilation, and group 2 ($n = 30$) consisted of patients who were subsequently transferred to mechanical ventilation.

Адрес для корреспонденции:

* Белоус Михаил Сергеевич
E-mail: belousem@mail.ru

Correspondence to:

* Mikhail S. Belous
E-mail: belousem@mail.ru

Results. Patients in group 2 had significantly lower diaphragm function parameters (left excursion value ($P<0.001$), right excursion value ($P<0.001$), diaphragm thickness on inspiration ($P=0.043$), and thickening fraction ($P<0.001$) than patients in group 1.

Conclusion. Decreased diaphragm excursion of less than 17.1 mm on the right side is a predictor of initiation of mechanical ventilation in patients with the COVID-19 infection (sensitivity 93.3%, specificity 76.7%). Morphological examination in deceased patients of group 2 revealed pericellular and perivascular edema, venular thrombosis, endoneurial edema, and sludge in the lumen of arterioles.

Keywords: novel coronavirus infection; COVID-19; complications; diaphragm

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

DOI:10.15360/1813-9779-2022-1-17-22

Введение

«Входными воротами» возбудителя новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в легких являются рецепторы ACE2 альвеолярных клеток II типа, что определяет развитие легочного повреждения разной степени тяжести и распространенности у всех умерших от COVID-19 [1, 2]. Симптомами вирусной инфекции при среднетяжелом, тяжелом и крайне тяжелом течении являются десатурация, одышка, снижение индекса оксигенации, то есть симптомы гипоксии, которая чаще всего имеет смешанный характер [3]. Объем легочного повреждения по данным КТ не всегда коррелирует с выраженностью дыхательной недостаточности, что требует поиска дополнительных факторов, определяющих развитие дыхательной недостаточности у пациентов с COVID-19 [4–6]. Одним из таких факторов может быть функциональное состояние диафрагмы, что подтверждается наличием рецепторов ACE2 в диафрагме человека и SARS-CoV-2 вирусной инфильтрации в диафрагме пациентов с тяжелым течением COVID-19 [7–9].

Известно, что диафрагма является основной инспираторной дыхательной мышцей и играет ведущую роль при спонтанной вентиляции легких. Односторонняя блокада диафрагмального нерва приводит к снижению легочной вентиляции до 30% от исходного уровня [10–12]. При COVID-19 нарушение функции и/или структуры диафрагмы может быть обусловлено сопутствующей патологией (диабетическая полинейропатия), конституциональными особенностями, прямым нейротоксическим действием вируса, респираторной нейропатией критических состояний [13–15].

Цель исследования — оценка возможности прогнозирования перевода на ИВЛ пациентов с новой коронавирусной инфекцией тяжелого течения с помощью ультразвуковой оценки функции диафрагмы.

Материал и методы

В открытое проспективное пилотное исследование включили 60 пациентов с диагнозом новая ко-

ронавирусная инфекция в момент их поступления в отделение реанимации и интенсивной терапии, при условии прогрессирования дыхательной недостаточности на 6–7-е сутки от начала заболевания.

У всех пациентов присутствовала клиническая картина вирусной пневмонии, подтвержденная положительным ПЦР-тестом на РНК SARS-CoV-2 при поступлении и характерной рентгенологической картиной при компьютерной томографии грудной клетки (КТ 2–4).

Пациентов разделили на две группы: 1-я группа ($n=30$) — пациенты, не нуждавшиеся в переводе на инвазивную ИВЛ, 2-я группа ($n=30$) — пациенты, в первые 6–12 часов от момента поступления в ОРИТ, переведенные на ИВЛ.

Из исследования исключали пациентов, переведенных на ИВЛ не в следствие прогрессирования коронавирусной инфекции, а по иным причинам, выявленным в процессе дифференциальной диагностики (острое нарушение мозгового кровообращения, тромбоэмболия легочной артерии и др.).

Оценку тяжести состояния в момент перевода пациента в ОРИТ осуществляли с помощью шкалы (NEWS (National Early Warning Score) [16]. Общую характеристику пациентов представили в табл. 1.

Как видно из табл. 1 пациенты обеих групп значимо не отличались по возрасту, полу, индексу массы тела, объему повреждения легочной ткани по результатам компьютерной томографии, а также по тяжести состояния и сопутствующей патологии.

Исследование диафрагмы проводили ультразвуковым сканером General Electric Ligiq e R8 (General Electric, США). Функцию диафрагмы оценивали на основании определения ее экскурсии справа и слева и утолщения диафрагмы при дыхании [17, 18].

Оценку экскурсии диафрагмы справа и слева проводили в положении пациента лежа на спине с использованием низкочастотных датчиков — конвекс или фазированная решетка. Датчик располагали между среднеключичной и переднеаксиллярной линиями, при этом луч сканирования ориентировали медиально в дорсокраниальном направлении, т. е. УЗ-луч пересекал диафрагму под прямым углом. В М-режиме определяли амплитуду движения задней трети диафрагмы при обычном дыхании.

Оценку утолщения диафрагмы проводили в положении пациента лежа на спине с использованием высокочастотного линейного датчика. Исследование проводили в В-режиме. Датчик располагали в коронарной плоскости по среднеаксиллярной линии на уровне реберно-диафрагмального синуса.

Таблица 1. Сравнительная характеристика пациентов.

Показатель	Значения показателей в группах		p
	1	2	
Количество больных в группе	30	30	
Возраст, (M±σ)	74,4±17,28	70,23±18,12	0,482
Мужчины, n (%)	18 (60)	14 (47)	0,438
Женщины, n (%)	12 (40)	16 (53)	0,565
Индекс массы тела, (M±σ)	28,22±3,16	28,21±3,15	0,894
Тяжесть состояния по шкале NEWS на момент поступления в ОРИТ, (M±σ)	6,4±1,9	6,0±2,0	0,585
Инсуффляция O ₂ , n (%)	8 (26,7)	6 (20)	
Высокопоточная оксигенация, n (%)	12 (40)	12 (40)	
Неинвазивная вентиляция легких, n (%)	10 (33,3)	12 (40)	
Объем повреждения легочной ткани, (M±σ), %	42,7±27,0	55,23±27,15	0,096
Сопутствующая патология			
Сахарный диабет, n	30	27	
Гипертоническая болезнь, n (%)	26	24	

Таблица 2. Показатели функции диафрагмы у пациентов с новой коронавирусной инфекцией (M±σ, Me [0,25; 0,75]).

Показатель	Значения показателей в группах		p
	1	2	
Экскурсия диафрагмы слева, см	1,92±0,39	1,29±0,21	<0,001
Экскурсия диафрагмы справа, см	2,21±0,68	1,46±0,2	<0,001
p	0,02	0,039	
Толщина диафрагмы на выдохе, см	0,21±0,07	0,26±0,18	0,3
Толщина диафрагмы на вдохе, см	0,37±0,13	0,32±0,19	0,043
p	0,004	<0,001	
Коэффициент утолщения	1,72 [1,16; 2,32]	0,93 [0,81; 1,02]	<0,001

Диафрагму визуализировали в месте ее соприкосновения с грудной стенкой с оценкой ее максимальной толщины на вдохе и минимальной на выдохе.

По результатам измерения толщины диафрагмы рассчитывали коэффициент утолщения, как отношение толщины диафрагмы на вдохе к толщине диафрагмы на выдохе.

В приведенном клиническом примере представили препарат диафрагмы пациента, погибшего от COVID-19. Участок диафрагмы забирали из поясничной части, соответствующей области УЗ-исследования. Для микроскопического исследования препаратов, окрашенных гематоксилин-эозином, использовали микровизор медицинский проходящего света mVizo-101 (ЛОМО, Россия). Исследование и микрофотографирование проводили с использованием объектива — планохромат 5/0,10; видеонасадки — ХТ0028, при этом линейное увеличение микровизора составляло 63-240.

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics (Версия 25). Все данные проверили на нормальность распределения с помощью теста Шапиро-Уилка. Для сравнения качественных данных в не связанных выборках использовали точный тест Фишера, для сравнения количественных признаков с асимметричным распределением в не связанных выборках — U-критерий Манна-Уитни, в связанных — T-критерий Уилкоксона. Для анализа корреляционной зависимости использовали коэффициент ранговой корреляции R-Спирмена. Для прогнозирования вероятностей использовали логистическую регрессию с разработкой регрессионной модели. С помощью бинарной логистической регрессии (метод «forward LR») исследовали зависимость дихотомической переменной (перевод пациента на ИВЛ) от независи-

мых переменных (экскурсия диафрагмы, коэффициент утолщения диафрагмы). Для оценки качества бинарной классификации использовали ROC-анализ, для выбора оптимальной точки отсечения использовался критерий Юдена (максимизация суммы чувствительности и специфичности). Нулевую гипотезу об отсутствии статистически значимых различий отвергали при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты ультразвукового исследования диафрагмы у пациентов обеих групп представили в табл. 2. Показатели функции диафрагмы (величина экскурсии слева, величина экскурсии справа, толщина диафрагмы на вдохе, коэффициент утолщения) значимо отличались у пациентов 1-й и 2-й групп. Значимых различий не было только по толщине диафрагмы на выдохе.

Кроме того, показатели экскурсии справа и слева в группах отличались между собой. Стоит отметить, что A. Boussuges с соавторами в своем исследовании не нашел различий в экскурсии диафрагмы справа и слева у здоровых пациентов [19]. Полученные результаты мы связываем с особенностями УЗ-визуализации левого купола диафрагмы, а именно с плохим акустическим окном (газовый пузырь желудка слева). Учитывая данные научной литературы, считаем целесообразным оценивать экскурсию в области с наилучшим акустическим окном, а именно — справа [20].

Анализ взаимосвязи величины экскурсии диафрагмы слева с принадлежностью к группе

выявил наличие статистически значимой ($p < 0,001$) сильной корреляции — значение r -Спирмена составило — 0,731. При этом высокие показатели экскурсии диафрагмы тяготели к группе пациентов, дыхательная недостаточность которых не привела к переводу на ИВЛ.

Анализ взаимосвязи величины экскурсии диафрагмы справа с принадлежностью к группе выявил наличие статистически значимой ($p < 0,001$) корреляции средней степени силы — значение r -Спирмена составило — 0,576. При этом высокие показатели экскурсии диафрагмы тяготели к группе пациентов, дыхательная недостаточность которых не привела к переводу на ИВЛ.

Анализ взаимосвязи коэффициента утолщения диафрагмы с принадлежностью к группе выявил наличие статистически значимой ($p < 0,001$) сильной корреляции — значение r -Спирмена составило — 0,477. При этом высокие показатели коэффициента утолщения диафрагмы тяготели к группе пациентов, дыхательная недостаточность которых не привела к переводу на ИВЛ.

Несмотря на значимые межгрупповые различия в толщине диафрагмы на вдохе, корреляционный анализ этого показателя не проводили в связи с тем, что он является производным.

Для прогнозирования вероятности перевода пациента на ИВЛ по показателям функции диафрагмы создали модель на основе логистической регрессии. При этом показатель «экскурсия диафрагмы слева» потерял значимость ($p = 0,108$). Таким образом:

$$p = 1 / (1 + e^{-z})$$

где p — вероятность перевода пациента на ИВЛ; $e = 2,718...$ — основание натуральных логарифмов; $z = a + (B1 \times X1) + (B2 \times X2)$; $a = 27,479$ ($p = 0,001$) — константа уравнения регрессии; $B1 = -11,365$ ($p = 0,003$); $X1$ — коэффициент утолщения диафрагмы; $B2 = -7,097$ ($p = 0,006$); $X2$ — экскурсия диафрагмы справа; таким образом, $z = 27,479 - 11,365 \times X1 - 7,097 \times X2$.

Если расчетная вероятность больше 0,5, пациента относили к группе 2 (пациенты на ИВЛ).

При этом количество правильно распознанных результатов в исследуемой выборке составило 91,7%; R -квадрат Нейджелкерка = 0,848.

Таким образом прогностическая модель, в целом, адекватна. Тест согласия Хосмера–Лемешова показал соответствие модели и реальных данных ($p = 0,510$).

На основании предсказанных значений построили ROC-кривую для оценки прогностической значимости регрессионной модели (рис. 1).

Значение площади под кривой для предсказанных значений составило 0,977 ($p < 0,001$).

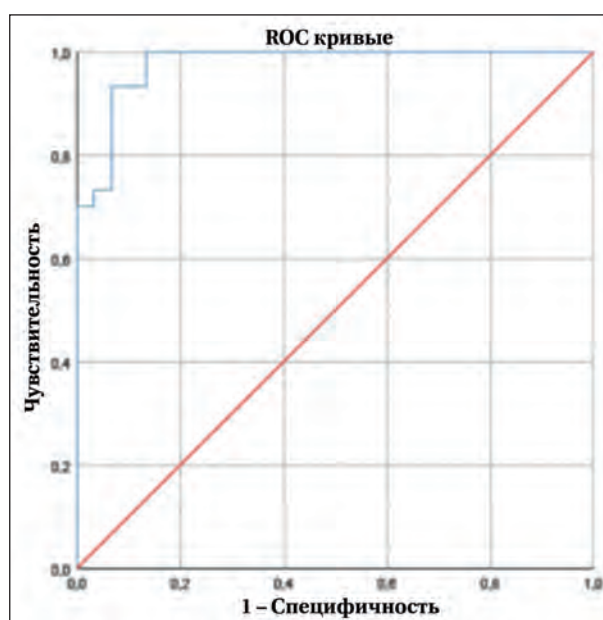


Рис. 1. Кривая для оценки прогностической значимости регрессионной модели.

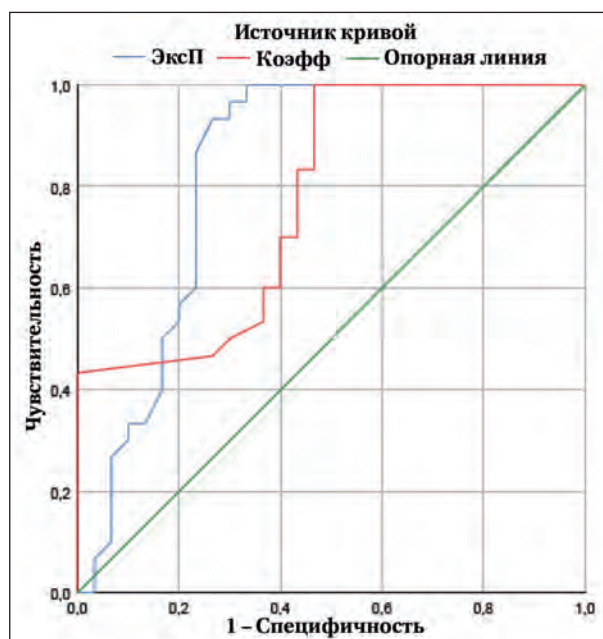


Рис. 2. Кривые оценки прогностической значимости экскурсии диафрагмы справа (синим), коэффициента утолщения диафрагмы (красным) в ROC-анализе.

При этом значения площади от 0,946 до 1,000 соответствуют 95%-му доверительному интервалу. При этом регрессионная модель позволяет прогнозировать перевод пациента на ИВЛ на основании независимых переменных (экскурсия диафрагмы, коэффициент утолщения диафрагмы) с чувствительностью 93,3%, специфичностью — 93,3% (точка отсечения 0,529).

Построили ROC-кривую для оценки чувствительности и специфичности величины экскурсии диафрагмы справа и коэффициента

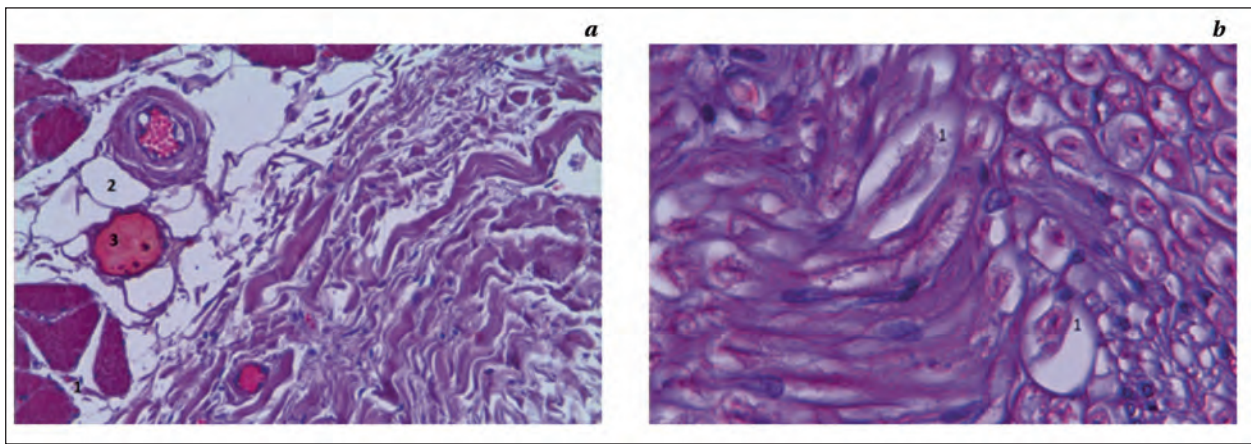


Рис. 3. Препарат диафрагмы (а) и диафрагмального нерва (b) пациента, умершего от COVID-19.

Примечание. Окраска гематоксилином, эозином. Видеонасадка ХТ0028. а — объектив $\times 20$; перичеселлюлярный (1) и периваскулярный (2) отек, венозный тромбоз (3). b — объектив — $\times 63$. Эндоневральный отек (1).

утолщения диафрагмы, как предикторов крайне тяжелого течения новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Значение площади под кривой для величины экскурсии диафрагмы справа составило 0,832 ($p < 0,001$). При этом значения площади от 0,719 до 0,946 соответствуют 95%-му доверительному интервалу.

Значение площади под кривой для коэффициента утолщения диафрагмы составило 0,775 ($p < 0,001$). При этом значения площади от 0,657 до 0,893 соответствуют 95% — удовлетворительному интервалу.

Кривые оценки прогностической значимости параметров величины экскурсии диафрагмы справа и коэффициентом утолщения диафрагмы в ROC-анализе привели на рис. 1. При этом пороговые значения экскурсии диафрагмы справа как предиктора крайне тяжелого течения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) 17,1 мм и менее имели чувствительность 93,3%, специфичность — 76,7%. Стоит отметить, что полученные результаты соответствуют результатам исследования А. Boussuges, а именно — величина экскурсии диафрагмы у здоровых лиц составляет у мужчин 18 ± 3 мм, у женщин 16 ± 3 мм [19]. Следовательно, снижение данного показателя имеет прогностическое значение для возможного перевода пациента на ИВЛ.

Пороговые значения коэффициента утолщения диафрагмы как предиктора крайне тяжелого течения новой коронавирусной инфекции (COVID-19), составляющие 1,3 раза и менее, имели чувствительность 70%, специфичность — 60%.

Литература

1. Ahn D.G., Shin H.J., Kim M.H., Sunhee Lee S., Hae-Soo Kim H-S., Myoung J., Kim B-T., Kim S-J. Current Status of Epidemiology, Diagnosis, Therapeutics, and Vaccines for Novel Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *J Microbiol Biotechnol.* 2020; 30 (3): 313–324. DOI: 10.4014/jmb.2003.03011.
2. Зайратьянц О.В., Самсонова М.В., Михалева Л.М., Черняев А.Л., Мишнев О.Д., Крупнов Н.М., Калинин Д.В. Патологическая

Выраженность дыхательной недостаточности может быть связана с прямым мио- и нейротоксическим действием вируса [8]. В целях верификации морфологического субстрата диафрагмальной дисфункции провели единичное морфологическое исследование диафрагмы и диафрагмального нерва пациента, погибшего от COVID-19. В препаратах отметили: перичеселлюлярный, периваскулярный отек, тромбоз венул, отек эндоневрия, сладжи в просвете артериол (рис. 3).

Приведенные в примере морфологические изменения диафрагмального нерва могут служить объяснением возникновения резкой декомпенсации ОДН с остановкой дыхания у больных с НКИ.

Полученные морфологические результаты требуют продолжения исследования взаимосвязи функции диафрагмы и ее морфологических изменений у пациентов с COVID-19.

Заключение

У пациентов с новой коронавирусной инфекцией крайне тяжелого течения, нуждающихся в переводе на ИВЛ, наблюдается дисфункция диафрагмы в виде снижения ее подвижности и нарушения сокращения.

Снижение экскурсии диафрагмы менее 17,1 мм справа является предиктором перевода пациента с COVID-19 на ИВЛ с чувствительностью 93,3%, специфичностью 76,7%.

анатомия COVID-19: Атлас. Под общей ред. О.В. Зайратьянца. — Москва, ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020.

3. Орлов Ю.П., Долгих В.Т., Верецагин Е.И., Лукач В.Н., Говорова Н.В., Кохно В.Н., Шмаков А.Н., Патюков Я.Н. Есть ли связь обмена железа с течением COVID-19? *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2020; 17 (4): 6–13.
4. Luri L., Palmer A., Huber-Lang M. Inflammation, Thrombosis, and Destruction: The Three-Headed Cerberus of Trauma- and SARS-

- CoV-2-Induced ARDS. *Front Immunol.* 2020 Sep 25; 11: 584514. DOI: 10.3389/fimmu.2020.584514. PMID: 33101314; PMCID: PMC7546394.
5. Bösmüller H., Matter M., Fend F, Tzankov A. The pulmonary pathology of COVID-19. *Virchows Arch.* 2021; 478 (1): 137–150. DOI: 10.1007/s00428-021-03053-1. Epub 2021 Feb 19. PMID: 33604758; PMCID: PMC7892326.
6. Zhang T., Sun L.X., Feng R.E. [Comparison of clinical and pathological features between severe acute respiratory syndrome and coronavirus disease 2019]. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi.* 2020; 43 (6): 496–502. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20200311-00312. PMID: 32241072.
7. 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. DOI: 10.15360/1813-9779-2018-3-82-103.
8. Shi Z., de Vries H.J., Vlaar A.P.J., van der Hoeven J., Boon R.A., Heunks L.M.A., Ottenheim C.A.C., Dutch COVID-19 Diaphragm Investigators. Diaphragm Pathology in Critically Ill Patients With COVID-19 and Postmortem Findings From 3 Medical Centers. *JAMA Intern Med.* 2021; 181 (1): 122–124. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.6278.
9. Заболотских И.Б., Киров М.Ю., Лебединский К.М., Проценко Д.Н., Авдеев С.Н., Андреев А.А., Арсентьев Л.В., Афончиков В.С., Афуков И.И., Белкин А.А., Боева Е.А., Буланов А.Ю., Васильев Я.И., Власенко А.В., Горбачев В.И., Григорьев Е.В., Григорьев С.В., Грицан А.И., Еременко А.А., Еришов Е.Н., Замятин М.Н., Иванова Г.Е., Кузовлев А.Н., Куликов А.В., Лахин Р.Е., Лейдерман И.Н., Ленькин А.И., Мазурок В.А., Мусаева Т.С., Николаенко Э.М., Орлов Ю.П., Петриков С.С., Ройтман Е.В., Роненсон А.М., Сметкин А.А., Соколов А.А., Степаненко С.М., Субботин В.В., Ушакова Н.Д., Хороненко В.Э., Царенко С.В., Шифман Е.М., Шукевич Д.Л., Щеголев А.В., Ярошецкий А.И., Ярустовский М.Б. Анестезиолого-реанимационное обеспечение пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Методические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова.* 2021; S1: 9–143. DOI: 10.21320/1818-474X-20.
10. Рафмелл Д.П., Нил Д.М., Вискоуи К.М. Регионарная анестезия: Самое необходимое в анестезиологии / пер. с англ.; под общ. ред. А. П. Зильбера, В. В. Мальцева. — 4-е изд. — М.: МЕДпрессинформ, 2015: 272 с.
11. Ricoy J., Rodríguez-Núñez N., Álvarez-Dobaño J.M., Toubes M.E., Riveiro V., Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology.* 2019; 25 (4): 223–235. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2018.10.008. Epub 2018 Dec 1. PMID: 30509855.
12. Rudrappa M, Kokatnur L, Chernyshev O. Neurological Respiratory Failure. *Diseases.* 2018; 6 (1): 7. DOI: 10.3390/diseases6010007. PMID: 29320394, PMCID: PMC5871953.
13. Li Y-C., Bai W-Z., Hashikawa T. The neuroinvasive potential of SARS-CoV2 may play a role in the respiratory failure of COVID-19 patients. *J Med Virol.* 2020; 92 (6): 552–555. PMID: 32104915. PMCID: PMC7228394 DOI: 10.1002/jmv.25728.
14. Рахимов Р.Т., Лейдерман И.Н., Белкин А.А. Респираторная нейромиопатия как важный компонент полинейромиопатии критических состояний. *Журнал им. Н. В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь.* 2020; 9 (1): 108–122. DOI: 10.23934/2223-9022-2020-9-1-108-122.
15. Huh S., Chung J.H., Kwon H.J., Ko H.Y. Unilateral Diaphragm Paralysis Associated With Neurosyphilis: A Case Report. *Ann Rehabil Med.* 2020; 44 (4): 338–341. DOI: 10.5535/arm.19216.
16. Gong J., Ou J., Qiu X., Jie Y., Chen Y., Yuan L., Cao J., Tan M., Xu W., Zheng F., Shi Y., Hu B. A Tool for Early Prediction of Severe Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Multicenter Study Using the Risk Nomogram in Wuhan and Guangdong, China. *Clinical Infectious Diseases.* 2020; 71 (15): 833–840. DOI: 10.1093/cid/ciaa443.
17. Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н. Возможности ультразвукового исследования диафрагмы. *Терапевтический архив.* 2019; 91 (3): 86–92. DOI: 10.26442/00403660.2019.03.000129.
18. Vetrugno L., Guadagnin G.M., Barbariol F, Langiano N., Zangrillo A., Bove T. Ultrasound Imaging for Diaphragm Dysfunction: A Narrative Literature Review. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019; 33 (9): 2525–2536. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.01.003. Epub 2019 Jan 4. PMID: 30686657.
19. Boussuges A., Gole Y., Blanc P. Diaphragmatic motion studied by M-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest.* 2009; 135: 391–400. DOI: 10.1378/chest.08-1541.
20. Kendall J.L., Hoffenberg S.R., Smith R.S. History of emergency and critical care ultrasound: the evolution of a new imaging paradigm. *Crit Care Med.* 2007; 35 (5 Suppl): S126–130. DOI: 10.1097/01.CCM.0000260623.38982.83. PMID: 17446770.

Поступила 30.04.2021