

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2024.3.37>

Нарушения функции мышц дыхательной помпы в острую фазу Covid-19

Е.С. Панько^{1,2}, С.В. Жаворонок¹, А.М. Соловчук³, С.В. Панько^{2,4}

¹Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Брестская областная клиническая больница, г. Брест, Республика Беларусь

³Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

⁴Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2024. – Том 23, №3. – С. 37-46.

Functional disturbances of respiratory pump muscles in the acute phase of COVID-19

E.S. Panko^{1,2}, S.V. Zhavoronok¹, A.M. Solovchuk³, S.V. Panko^{2,4}

¹Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

²Brest Regional Clinical Hospital, Brest, Republic of Belarus

³Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

⁴Brest State University named after A.S. Pushkin, Brest, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2024;23(3):37-46.

Резюме.

Целью исследования была оценка и анализ основных показателей функции дыхательной помпы и их предикторных свойств у пациентов в острую фазу течения Covid-19.

Материал и методы. Исследования проведены на 384 пациентах с клинико-лабораторным подтвержденным диагнозом COVID-19, госпитализированных в Брестскую областную клиническую больницу с декабря 2021 по май 2022 в возрасте от 7 до 95 лет ($60,6 \pm 15,7$ года, женщины – 59%). Стратификация групп проводилась с использованием критериев, указанных в Приказе МЗ РБ №841 от 22.06.2022 «Об организации оказания медицинской помощи пациентам с COVID-19». Пациентам выполнялись спирометрические исследования максимального давления вдоха (MIP) и выдоха (MEP) на 2 сутки ($2,2 \pm 0,2$) от начала заболевания согласно инструкции к портативному прибору MicroRPM (CareFusion, UK).

Результаты. По результатам спирометрии значения MEP и MIP ниже нормы были отмечены в 90% и почти в 100% случаев, соответственно. При этом отмечались значительные различия ($p=0,0000$) между группой со средней тяжестью ($52 \pm 22,3$) и группами с тяжелым ($42,1 \pm 22,5$) и крайне тяжелым течением болезни ($35,6 \pm 20,5$). Выявлена достоверная обратная корреляция между значением MEP, MIP и сроками нахождения пациентов на стационарном лечении.

Заключение. Таким образом, полученные результаты подтверждают выраженное снижение работоспособности дыхательной помпы практически у всех госпитализированных пациентов в острую фазу инфекционного процесса, вызванного SARS-CoV-2, и корреляцию степени слабости диафрагмы и экспираторных мышц с тяжестью состояния пациентов.

Показатели работы экспираторной и инспираторной мускулатуры могут быть использованы в качестве прогностического фактора длительности лечения в стационаре и исходов COVID-19.

Ключевые слова: Covid-19, острая фаза, спирометрия, дыхательная помпа, максимальное давление на вдохе (MIP), максимальное давление на выдохе (MEP), предиктор, тяжесть, исходы.

Abstract.

Objectives. To evaluate and to analyze the main indicators of respiratory pump function and their predictive properties in patients in the acute phase of the Covid-19 course.

Material and methods. The studies were carried out on 384 patients with a clinically and laboratory-confirmed diagnosis

of COVID-19, placed in the Brest Regional Clinical Hospital from December 2021 to May 2022, aged from 7 to 95 years (60.6 ± 15.7 years, women – 59%).

The groups were stratified using the criteria specified in the Order of the Ministry of Health of the Republic of Belarus No. 841 dated June 22, 2022. Patients underwent spirometric studies of maximum inspiratory pressure (MIP) and maximum expiratory pressure (MEP) on the 2nd day (2.2 ± 0.2) from the onset of the disease according to the instructions for the portable MicroRPM device (CareFusion, UK).

Results. According to the results of spirometry, MEP and MIP values were below the normal ones in 90% and almost 100% of cases, respectively. At the same time, there were significant differences ($p = 0.0000$) between the group with moderate severity (52 ± 22.3) and groups with severe (42.1 ± 22.5) and extremely severe course of the disease (35.6 ± 20.5). A significant inverse correlation was found between the value of MEP, MIP and the length of patients' hospital stay.

Conclusions. Thus, the results obtained confirm a pronounced decreased performance of the respiratory pump practically in all hospitalized patients in the acute phase of the infectious process caused by SARS-CoV-2 and a correlation of the degree of weakness of the diaphragm and expiratory muscles with the severity of the patients' condition. Expiratory and inspiratory muscle performance indicators can be used as a predictor of the length of hospital stay and COVID-19 outcomes.

Keywords: Covid-19, acute phase, spirometry, respiratory pump, maximum inspiratory pressure (MIP), maximum expiratory pressure (MEP), predictor, severity, outcomes.

Введение

Последняя пандемия коронавирусной болезни COVID-19, в основном, характеризуется признаками тяжелой пневмонии приводящей у значительной части инфицированных SARS-CoV-2 к тяжелому острому респираторному синдрому (SARS) с гипоксической / гипоксемической дыхательной недостаточностью (ГДН), острая эскалация которой (ГОДН) и есть основная причина высокой морбидности и смертности пациентов. Патофизиологической основой ГОДН является нарастающая вентиляционно-перфузионная (V/Q) диссоциация, первый компонент которой, к сожалению, остается не изученным в острую фазу инфекционного процесса, вызванного CoV-2. Высокая распространенность симптомов, связанных с нейро-мышечной системой [1, 2], повышенный уровень циркулирующей креатинкиназы [3, 4] молочной кислоты и ее производных (LDH) [5] косвенно указывают на структурные и функциональные изменения в скелетных мышцах у пациентов с Covid-19, что также обосновывает актуальность/перспективность исследования функциональных нарушений респираторных мышц и их корреляций с тяжестью течения и исходом острой фазы инфекционного процесса [6].

Для оценки функционального состояния дыхательной помпы наиболее современным и перспективным является использование спирометрических тестов эффективности работы инспираторных [7] и экспираторных мышц [3], которые служат для измерения в см H₂O столба

сократительной силы диафрагмы – максимальное давление вдоха (MIP), а также межреберных и брюшных мышц – максимальное давление выдоха (MEP).

Цель исследования – оценка и анализ показателей силы дыхательной мускулатуры как возможных маркеров /предикторов тяжести течения острой фазы Covid-19 у госпитализированных пациентов.

Материал и методы

Исследования проведены в инфекционном отделении Брестской областной клинической больницы с декабря 2021 по май 2022 года на 384 случайно отобранных пациентах в возрасте от 7 до 95 лет ($60,6 \pm 15,7$ года, женщины 59%), с клинико-лабораторным подтвержденным диагнозом острой фазы COVID-19. Стратификация когорты по группам тяжести проводилась с использованием критериев (пороговых значений неинвазивных функциональных показателей), указанных в Приказе МЗ РБ №841 от 22.06.2022 «Об организации оказания медицинской помощи пациентам с COVID-19».

Пациентам, кроме стандартных клинико-лабораторных и рентгенологических обследований, выполнялись спирометрические исследования максимального давления вдоха (MIP) и выдоха (MEP) на вторые сутки ($2,2 \pm 0,2$) от начала заболевания согласно инструкции к портативному прибору MicroRPM (CareFusion, UK). Процент пациентов в когорте и группах, имевших снижение MEP и MIP, рассчитывался с использованием

таблиц реферативных значений этих показателей для различных групп соответствующего возраста и пола [8].

Статистическая обработка и анализ данных. Все показатели вносились в электронную базу в формате Microsoft Office Excel.

Результаты описательной статистики полученных непрерывных переменных (показателей) представлены как средние \pm стандартное отклонение, категориальных – частота (%), а их сравнение между группами тяжести COVID-19, проводилось с использованием t-критерия либо Хи-квадрат теста соответственно. Результаты корреляций между переменными отражались с указанием значения коэффициента $r = /-$. Статистическая значимость во всех тестах была принята при $p < 0,05$. Анализ возможностей спирометрических показателей прогнозировать длительность госпитализации пациентов после проведения тестов (≤ 7 против > 7 суток) проведен с использованием

моделей лог-регрессии с биномиальным распределением, построением кривых операционных характеристик (ROC), определением площади под ней (AUC), чувствительности и специфичности (STATISTICA 10). Пороговые значения для переменных МЕР – 60 см и МПР – 40 см водного столба выбраны на основании анализа предыдущих исследований [9, 10].

Результаты

Описательная статистика когорты и сравнение клинико-демографических показателей в группах тяжести представлены в таблице 1. Пациенты в группе средней тяжести были моложе по сравнению с больными, имевшими тяжелую и крайне тяжелую форму COVID-19. Кроме того, в последней группе преобладали пациенты мужского пола. Три четверти пациентов исследуемой когорты имели различные сопут-

Таблица 1 – Клинико-демографические характеристики пациентов

	Когорта в целом n=384	Средней тяжести n=263	Тяжелая n=72	Крайне тяжелая n=49	P=		
					P ₁₋₂ =	P ₁₋₃ =	P ₂₋₃ =
		1	2	3			
Возраст	60,6 \pm 15,71	58,6 \pm 16,2	64,2083333 \pm 12,90151	65,6530612 \pm 15,06728	0,0071*	0,0050*	0,5734
Пол мужской	40,89%	38%	39%	57%	0,0462*		
ИМТ	29,4433595 \pm 5,739962	28,8118937 \pm 5,600827	30,1124947 \pm 5,672856	31,849436 \pm 5,941316	0,0826	0,0006*	0,1075
Болезни сердечно- сосудистые	69%	65%	75%	82%	0,0331*		
Болезни легких	9%	7%	13%	12%	0,2529		
Болезни другие	28%	25%	31%	45%	0,0144*		
Болезни сопутст- вующие, всего	76%	71%	82%	92%	0,0026*		
Длитель- ность госпитали- зации	11,39063 \pm 6,478203	9,547529 \pm 5,504043	14,54167 \pm 6,432614	16,65306 \pm 6,820774	0,0000*	0,0000*	0,0863071
Длитель- ность госпитали- зации после спиротеста	9,127604 \pm 6,090858	7,570342 \pm 5,193378	11,83 \pm 6,397623	13,51020 \pm 6,661	0,0000*	0,0000*	0,166564983

Примечание: * – статистически значимые различия между указанными группами.

ствующие соматические заболевания, частота которых была достоверно большей в группах с тяжелым и крайне тяжелым течением острой фазы. Выявленные различия между группами отмечались в частоте сердечно-сосудистых болезней и других сопутствующих патологий в целом, таких как сахарный диабет, хроническая почечная недостаточность, различные онкологические заболевания и др. Выявлена также существенная разница ($p=0,0006$) индекса массы тела между группами со средним ($28,8\pm 5,6$) и крайне тяжелым течением ($31,9\pm 5,9$). В этой же группе общая продолжительность лечения пациентов в стационаре и сроки лечения после проведенного спирометрического исследования были достоверно ниже по сравнению с остальными группами.

Результаты спирометрии показали (табл. 2), что в целом значения МЕР ниже реферативных норм были отмечены у 90% пациентов, а снижение показателя МІР практически в ста процентах случаев. Среднее значение МІР в когорте составило $48,1\pm 22,9$ сантиметра водного столба, при этом отмечались значительные различия ($p=0,0000$) между группой со средней тяжестью ($52\pm 22,3$) и группами с тяжелым ($42,1\pm 22,5$) и крайне тяжелым течением болезни ($35,6\pm 20,5$). Показатель максимального давления выдоха в первой группе составил $64,9\pm 24,8$ см H_2O с

достоверным превосходством по сравнению с другими группами ($59\pm 24,3$ и $55,4\pm 28,1$ соответственно). Отмечалось практически параллельное снижение средних значений обоих показателей максимального респираторного давления в группах тяжести инфекционного процесса (рис. 1), что обусловлено достоверно высокой корреляцией показателей максимального вдоха и выдоха ($r=+0,72154$, $p<0,05$) в целой когорте пациентов. Кроме того, выявлена достоверная обратная корреляция между значением МЕР, МІР и сроками нахождения пациентов на стационарном лечении (табл. 3). Наибольшие коэффициенты корреляции ($r=-0,243216$ и $-0,200998$) отмечались между длительностью пребывания в стационаре после спирометрии и МЕР (рис. 2), а также МІР (рис. 3).

Построение моделей лог-регрессии с бинарным распределением и кривых операционных характеристик (ROC) с использованием указанных пороговых значений МЕР (рис. 4) и МІР (рис. 5) позволило оценить классификационные возможности спирометрических показателей, которые были подобны для этих двух маркеров. В модели с использованием МЕР чувствительность (73%) была несколько выше в сравнении с МІР моделью (54%), а специфичность, наоборот, ниже (49% vs 70% соответственно). Кроме того, площади под ROC были практически одинаковыми в обеих моделях.

Таблица 2 – Результаты спирометрических тестов по группам тяжести

	Когорта в целом n=384	Средней тяжести n=263	Тяжелая n=72	Крайне тяжелая n=49	P=		
					P ₁₋₂ =	P ₁₋₃ =	P ₂₋₃ =
		1	2	3			
Максимальное давление выдоха (МЕР см H_2O)	64,9±24,8	68,2±23,7	59±24,3	55,4±28,1	0,0037*	0,0008*	0,4544
МЕР ниже реферативной нормы, n= (%)	89,84%	89,73%	90,28%	89,80%	0,208163		
Максимальное давление вдоха (МІР см H_2O)	48,1±22,9	52±22,3	42,1±22,5	35,6±20,5	0,0009*	0,0000*	0,1093
МІР ниже реферативной нормы, n= (%)	98,18%	97,72%	98,61%	100,00%	0,100851		
МЕР / МІР	1,53±0,75	1,45273812±0,604537	1,62450464±0,902799	1,82513751±1,065241	0,0581	0,0007	0,2671
МІР / МЕР	0,751318876±0,249351	0,771630471±0,240111	0,729232256±0,262350	0,674753306±0,265782	0,1942	0,0113	0,2669

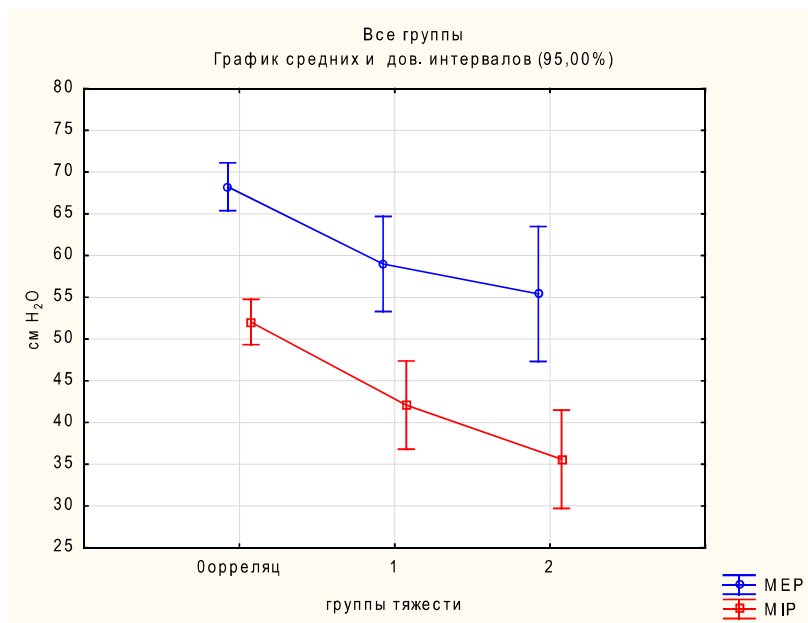


Рисунок 1 – Диаграмма значений МЕР и МІР по группам тяжести острой фазы COVID-19

Таблица 3 – Корреляции показателей спирометрии и продолжительности острой фазы в сутках

	Длительность болезни / лечения дома	Длительность госпитализации	Продолжительность болезни	Длительность госпитализации после спиротеста
MEP	-0,028070	-0,146197*	-0,134544*	-0,243216*
MIP	0,052676	-0,135407*	-0,082635	-0,200998*
MIP/MEP	0,095828	-0,000787	0,050489	0,000582
MEP/ MIP	-0,051637	0,049472	0,012908	0,039054

Примечание: * – достоверная корреляция ($p < 0,05$) между показателями, указанными в строке и соответствующем столбце ($r =$).

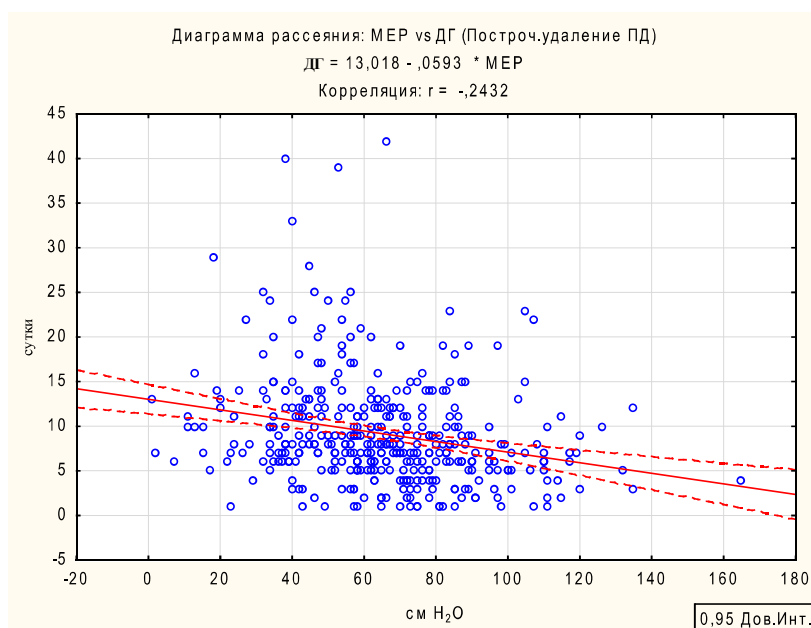


Рисунок 2 – График корреляции ($p < 0,05$) между максимальным давлением выдоха (МЕР в сантиметрах водного столба) и длительностью госпитализации после спиротеста (ДГ в сутках)

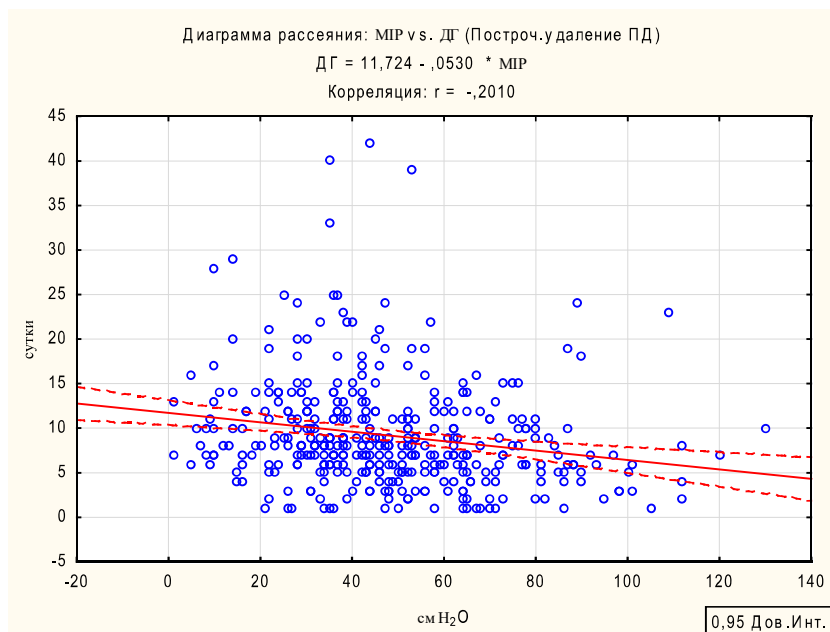


Рисунок 3 – График корреляции ($p < 0,05$) между максимальным давлением вдоха (MIP в сантиметрах водного столба) и длительностью госпитализации после спиротеста (ДГ в сутках)

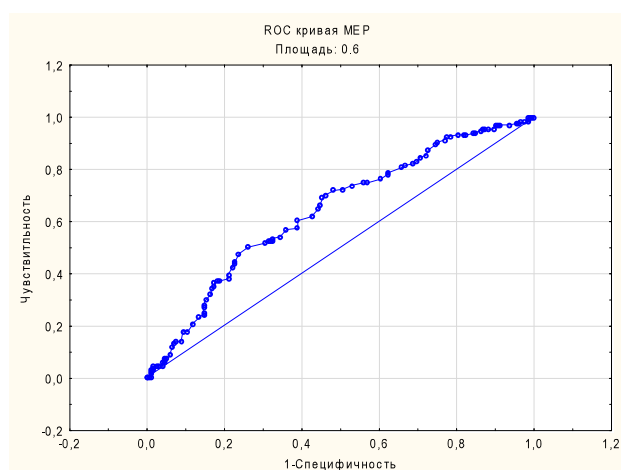


Рисунок 4 – Кривая операционных характеристик (ROC) для максимального давления вдоха MIP. Порог 60 см

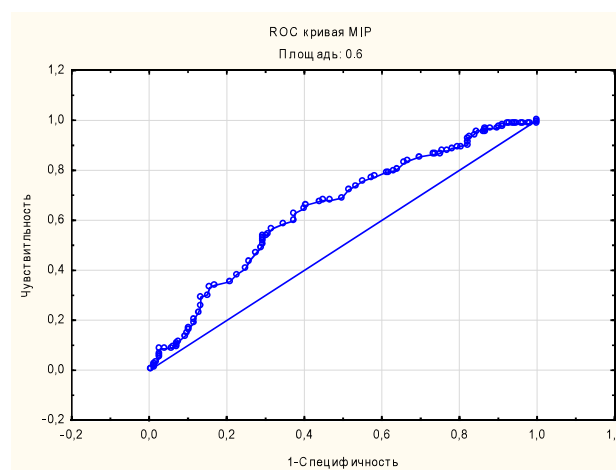


Рисунок 5 – Кривая операционных характеристик (ROC) для максимального давления вдоха MIP. Порог 40 см

Обсуждение

В самом начале пандемии было отмечено, что около половины пациентов с симптомами COVID-19 имеет генерализованную слабость и миалгии [1, 11], а также часто множественные неврологические симптомы, влияющие на двигательный контроль и мышечную функцию [2].

Потенциальная восприимчивость мышечной ткани к Covid-19 и развитие скелетной миопатии являются следствием описанного впервые Ferrandi PJ с соавторами прямого взаимодействия

вируса с ангиотензинпревращающим ферментом 2 (ACE2) [12] или трансмембранной протеазой серина 2 экспрессированными на поверхности миофибрилл скелетных мышц. Кроме того, сателлитные, иммунные клетки мышечных тканей, лейкоциты, фибробласты и эндотелиальные клетки также проявляют чувствительность к SARS-CoV-2 и могут быть вовлечены в патологический процесс [13]. Описанный патомеханизм в скелетных мышцах, обеспечивающих дыхательную вентиляцию снижает сократительный потенциал диафрагмы [3] и парастеральных межреберных

мышц и в итоге затрудняет процесс внешнего дыхания, усугубляя течение и последствия SARS [14].

Большинство опубликованных исследований мышечной силы у больных COVID-19 ограничено периодом реконвалесценции. Huang Y, Tan C и Nunez-Seisdedos MN et al. выявили значительное снижение мышечной силы более чем у половины пациентов в первые 30 суток после госпитализации [15] и обнаружили явную отрицательную корреляцию между MIP и функциональной способностью, одышкой, а также состоянием здоровья пациентов через 3 и 6 месяцев после госпитализации в отделения интенсивной терапии [16]. Спирометрические исследования максимального давления выдоха и вдоха [10] обладают относительной простотой выполнения и надежностью, что позволяет использовать их в любую фазу COVID-19 для объективной/ количественной оценки степени/ риска развития вентиляционных нарушений и прогнозирования исхода у пациентов с признаками дыхательной недостаточности.

Combret Yann с соавторами [9] установили, что показатели MIP и MEP могут быть использованы в качестве предикторов неудачной экстубации и 30-дневной смертности, а $MEP > 60$ см H_2O является предиктором кашлевого потенциала у пациентов с нейромышечными нарушениями [9], что обусловило наш выбор данного порогового значения MEP при анализе его прогностических возможностей. Пороговое значение второго маркера основывалось на том, что у здоровых людей с нормальной общей податливостью дыхательной системы давление открытия альвеол при спокойном дыхании у здоровых людей составляет $\approx 5-10$ см H_2O , но для полного расправления альвеол необходимо примерно 40 см H_2O [17] и 55 см H_2O при сниженной податливости легочной системы [18]. В нашем исследовании среднее значение MEP в группе пациентов с наиболее тяжелым фенотипом SARS составило 59, а MIP – 42 см H_2O , что было достоверно ниже по сравнению с пациентами со средней тяжестью COVID-19. В группе пациентов со среднетяжелой формой COVID-19 снижение силы экспираторных и инспираторных мышц было достоверно выше по сравнению с тяжелыми и крайне тяжелыми фенотипами острой фазы инфекционного процесса, а степень снижения сократительной способности диафрагмы и экспираторных мышц имела достоверную обратную взаимосвязь с тяжестью состояния пациентов.

Неспособность дыхательных мышц генерировать силу в сочетании со сниженной растяжимостью легких приводит к тому, что минутная вентиляция достигается высокой частотой дыхания с низким дыхательным объемом. Это проявляется неэффективным паттерном дыхания - «поверхностным дыханием», следствием которого является увеличение отношения мертвого пространства к дыхательному объему, что ставит под угрозу альвеолярную вентиляцию и газообмен в легких. Нейромускулярный механизм снижения функции инспираторных мышц при COVID-19 может изначально в различной степени искажать/отменять компенсаторные изменения характера дыхания, о чем свидетельствует феномен «тихой счастливой гипоксии» [19].

Острый респираторный дистресс-синдром у пациентов с COVID-19, запускаемый воспалением и повышенной проницаемостью легочных капилляров в результате повреждения эндотелия и легочного эпителия, на фоне часто сопутствующих и развивающихся патофизиологических изменений со стороны дыхательной помпы, вследствие нейромиопатии, приводит к нарастающей вентиляционно-перфузионной диссоциации и ГОДН [6].

Острая миопатия у пациентов с Covid-19 может развиваться во время начальной фазы заболевания, хотя при этом не всегда проявляется клинически [20], что можно описать как феномен «скрытой миопатии». Кроме того, во время госпитализации пациенты с тяжелой формой Covid-19 подвержены развитию острой миопатии, известной как миопатия критического состояния [16].

В целом, анализ накопленных во время пандемии данных свидетельствует о том, что вовлечение в патологический процесс нейро-мышечной системы, особенно мышц дыхательной помпы, является предиктором неблагоприятного прогноза развития SARS, вызванного CoV2.

Построение моделей лог-регрессии с использованием маркеров выраженности отклонений вентиляционного компонента этой диссоциации для прогноза длительности стационарного лечения позволило оценить их классификационные возможности с чувствительностью около 70% и специфичностью около 50% для MEP и практически зеркальным соотношением этих характеристик для MIP. Соотношение абсолютных величин этих показателей (MIP/MEP и MEP/ MIP) не имело достоверной корреляции со сроками лечения пациентов.

Таким образом, полученные результаты подтверждают выраженные патофизиологические изменения функции дыхательной мускулатуры у большинства пациентов с SARS, вызванным CoV-2, и возможность применения на госпитальном этапе показателей силы экспираторных и инспираторных мышц в качестве маркеров тяжести течения болезни. Осведомленность и клиническая настороженность / бдительность в отношении возникновения и прогрессирования в острую фазу инфекционного процесса часто возникающей «скрытой/тихой миопатии» могут иметь решающее значение для профилактики и лечения острой дыхательной недостаточности, вызванной SARS-CoV-2.

В перспективе, прогностические возможности показателей эффективности работы дыхательной помпы MIP и MEP могут быть использованы для построения многофакторных моделей оценки тяжести гипоксической дыхательной недостаточности у госпитализированных пациентов, основанных на маркерах, отражающих оба компонента вентиляционно-перфузионной (V/Q) диссоциации.

Заключение

Практически у всех госпитализированных пациентов в острую фазу инфекционного процесса, вызванного SARS-CoV-2, имеется выраженное снижение работоспособности дыхательной помпы.

Выраженность слабости диафрагмы и экспираторных мышц коррелирует с тяжестью состояния пациентов.

Маркеры эффективности работы экспираторной и инспираторной мускулатуры обладают сходными прогностическими возможностями для построения комплексных моделей оценки продолжительности острой фазы Covid-19.

Литература

- Xu, P. Clinical characteristics of two human-to-human transmitted coronaviruses: Corona Virus Disease 2019 vs. Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus / P. Xu, G.-D. Sun, Z.-Z. Li // *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2020 May. Vol. 24, N 10. P. 5797–5809. doi: 10.26355/eurrev_202005_21374
- Neurological manifestations of hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China: A retrospective case series study / L. Mao [et al.] // *SSRN Electron. J.* 2020 Jan. doi: 10.2139/ssrn.3544840
- Damage of the Muscle System in Covid-19 / I. T. Murkamilov [et al.] // *Russ. Arch. Int. Med.* 2021. Vol. 11, N 2. P. 146–153. doi: 10.20514/2226-6704-2021-11-2-146-153
- Association between SARS-CoV-2 infection and immune-mediated myopathy in patients who have died / T. Aschman [et al.] // *JAMA Neurol.* 2021 Aug. Vol. 78, N 8. P. 948–960. doi: 10.1001/jamaneurol.2021.2004
- Changes in lactate dehydrogenase on admission throughout the COVID-19 pandemic and possible impacts on prognostic capability / E. O. Medina-Hernández [et al.] // *Biomark. Med.* 2022 Oct. Vol. 16, N 14. P. 1019–1028. doi: 10.2217/bmm-2022-0364
- Панько, Е. С. Современные показатели функции внешнего дыхания в прогнозировании течения острой фазы COVID-19 / Е. С. Панько // *Журн. инфектологии.* 2023. Т. 15, № 3, прил. С. 115.
- Respiratory Muscle Performance Screening for Infectious Disease Management Following COVID-19: a highly pressurized situation / R. Severin [et al.] // *Am. J. Med.* 2020 Sep. Vol. 133, N 9. P. 1025–1032. doi: 10.1016/j.amjmed.2020.04.003
- Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation / J. A. Neder [et al.] // *Braz. J. Med. Biol. Res.* 1999 Jun. Vol. 32, N 6. P. 719–727. doi: 10.1590/s0100-879x1999000600007
- The relationship between maximal expiratory pressure values and critical outcomes in mechanically ventilated patients: a post hoc analysis of an observational study / Y. Combret [et al.] // *Ann. Intensive Care.* 2021 Jan. Vol. 11, N 1. P. 8. doi: 10.1186/s13613-020-00791-4
- The effects of COVID-19 on respiratory muscle performance: making the case for respiratory muscle testing and training / R. Severin [et al.] // *Eur. Respir. Rev.* 2022 Oct. Vol. 31, N 166. Art. 220006. doi: 10.1183/16000617.0006-2022
- Neuromuscular presentations in patients with COVID-19 / V. K. Paliwal [et al.] // *Neurol. Sci.* 2020 Nov. Vol. 41, N 11. P. 3039–3056. doi: 10.1007/s10072-020-04708-8
- Ferrandi, P. J. The interaction between SARS-CoV-2 and ACE2 may have consequences for skeletal muscle viral susceptibility and myopathies / P. J. Ferrandi, S. E. Alway, J. S. Mohamed // *J. Appl. Physiol.* (1985). 2020 Oct. Vol. 129, N 4. P. 864–867. doi: 10.1152/jappphysiol.00321.2020
- The regulation of skeletal muscle fatigability and mitochondrial function by chronically elevated interleukin-6 / B. N. VanderVeen [et al.] // *Exp. Physiol.* 2019 Mar. Vol. 104, N 3. P. 385–397. doi: 10.1113/EP087429
- Muscle dysfunction in the long coronavirus disease 2019 syndrome: Pathogenesis and clinical approach / C. C. Silva [et al.] // *Rev. Med. Virol.* 2022 Nov. Vol. 32, N 6. Art. e2355. doi: 10.1002/rmv.2355
- Impact of coronavirus disease 2019 on pulmonary function in early convalescence phase / Y. Huang [et al.] // *Respir. Res.* 2020 Jun. Vol. 21, N 1. P. 163. doi: 10.1186/s12931-020-01429-6
- Inspiratory muscle strength and function in mechanically ventilated COVID-19 survivors 3 and 6 months after ICU discharge / M. N. Nunez-Seisdedos [et al.] // *ERJ Open Res.* 2023 Jan. Vol. 9, N 1. P. 00329–2022. doi: 10.1183/23120541.00329-2022
- The role of time and pressure on alveolar recruitment / S. P. Albert [et al.] // *J. Appl. Physiol.* (1985). 2009 Mar. Vol. 106,

- N 3. P. 757–765. doi: 10.1152/jappphysiol.90735.2008
18. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise / P. Laveneziana [et al.] // Eur. Respir. J. 2019 Jun. Vol. 53, N 6. Art. 1801214. doi: 10.1183/13993003.01214-2018
 19. Archer, S. L. Differentiating COVID-19 Pneumonia From Acute Respiratory Distress Syndrome and High Altitude Pulmonary Edema: Therapeutic Implications / S. L. Archer, W. W. Sharp, E. K. Weir // Circulation. 2020 Jul. Vol. 142, N 2. P. 101–104. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.047915
 20. Muscle involvement in SARS-CoV-2 infection / L. Pitscheider [et al.] // Eur. J. Neurol. 2021 Oct. Vol. 28, N 10. P. 3411–3417. doi: 10.1111/ene.14564

Поступила 09.04.2024 г.
Принята в печать 14.06.2024 г.

References

1. Xu P, Sun G-D, Li Z-Z. Clinical characteristics of two human-to-human transmitted coronaviruses: Corona Virus Disease 2019 vs. Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2020 May;24(10):5797-809. doi: 10.26355/eurrev_202005_21374
2. Mao L, Wang M, Chen S, He Q, Chang J, Hong C, et al. Neurological manifestations of hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China: A retrospective case series study. SSRN Electron. J. 2020 Jan. doi: 10.2139/ssrn.3544840
3. Murkamilov IT, Aitbaev KA, Kudaibergenova IO, Fomin VV, Murkamilova ZhA, Yusupov FA. Damage of the Muscle System in Covid-19. Russ Arch Int Med. 2021;11(2):146-53. doi: 10.20514/2226-6704-2021-11-2-146-153
4. Aschman T, Schneider J, Greuel S, Meinhardt J, Streit S, Goebel H-H, et al. Association between SARS-CoV-2 infection and immune-mediated myopathy in patients who have died. JAMA Neurol. 2021 Aug;78(8):948-60. doi: 10.1001/jamaneurol.2021.2004
5. Medina-Hernández EO, Pérez-Navarro LM, Hernández-Ruiz J, Villalobos-Osnaya A, Hernández-Medel ML, Casillas-Suárez C, et al. Changes in lactate dehydrogenase on admission throughout the COVID-19 pandemic and possible impacts on prognostic capability. Biomark Med. 2022 Oct;16(14):1019-28. doi: 10.2217/bmm-2022-0364
6. Panko ES. Current indices of external respiratory function in predicting the course of the acute phase of COVID-19. Zhurn Infektologii. 2023;15(3):115. (In Russ.)
7. Severin R, Arena R, Lavie CJ, Bond S, Phillips SA. Respiratory Muscle Performance Screening for Infectious Disease Management Following COVID-19: a highly pressurized situation. Am J Med. 2020 Sep;133(9):1025-32. doi: 10.1016/j.amjmed.2020.04.003
8. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. Braz J Med Biol Res. 1999 Jun;32(6):719-27. doi: 10.1590/s0100-879x1999000600007
9. Combret Y, Prieur G, Hilfiker R, Gravier F-E, Smondack P, Contal O, et al. The relationship between maximal expiratory pressure values and critical outcomes in mechanically ventilated patients: a post hoc analysis of an observational study. Ann Intensive Care. 2021 Jan;11(1):8. doi: 10.1186/s13613-020-00791-4
10. Severin R, Franz CK, Farr E, Meirelles C, Arena R, Phillips SA, et al. The effects of COVID-19 on respiratory muscle performance: making the case for respiratory muscle testing and training. Eur Respir Rev. 2022 Oct;31(166):220006. doi: 10.1183/16000617.0006-2022
11. Paliwal VK, Garg RK, Gupta A, Tejan N. Neuromuscular presentations in patients with COVID-19. Neurol Sci. 2020 Nov;41(11):3039-56. doi: 10.1007/s10072-020-04708-8
12. Ferrandi PJ, Alway SE, Mohamed JS. The interaction between SARS-CoV-2 and ACE2 may have consequences for skeletal muscle viral susceptibility and myopathies. J Appl Physiol (1985). 2020 Oct 1;129(4):864-7. doi: 10.1152/jappphysiol.00321.2020
13. VanderVeen BN, Fix DK, Montalvo RN, Counts BR, Smuder AJ, Murphy EA, et al. The regulation of skeletal muscle fatigability and mitochondrial function by chronically elevated interleukin-6. Exp Physiol. 2019 Mar;104(3):385-97. doi: 10.1113/EP087429
14. Silva CC, Bichara CNC, Carneiro FRO, da Cunha Menezes Palacios VR, Van den Berg AVS, Quaresma JAS, et al. Muscle dysfunction in the long coronavirus disease 2019 syndrome: Pathogenesis and clinical approach. Rev Med Virol. 2022 Nov;32(6):e2355. doi: 10.1002/rmv.2355
15. Huang Y, Tan C, Wu J, Chen M, Wang Z, Luo L, et al. Impact of coronavirus disease 2019 on pulmonary function in early convalescence phase. Respir Res. 2020 Jun;21(1):163. doi: 10.1186/s12931-020-01429-6
16. Núñez-Seisdedos MN, Valcárcel-Linares D, Gómez-González MT, Lázaro-Navas I, López-González L, Pecos-Martín D, et al. Inspiratory muscle strength and function in mechanically ventilated COVID-19 survivors 3 and 6 months after ICU discharge. ERJ Open Res. 2023 Jan;9(1):00329-2022. doi: 10.1183/23120541.00329-2022
17. Albert SP, DiRocco J, Allen GB, Bates JHT, Lafollette R, Kubiak BD, et al. The role of time and pressure on alveolar recruitment. J Appl Physiol (1985). 2009 Mar;106(3):757-65. doi: 10.1152/jappphysiol.90735.2008
18. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. Eur Respir J. 2019 Jun;53(6):1801214. doi: 10.1183/13993003.01214-2018
19. Archer SL, Sharp WW, Weir EK. Differentiating COVID-19 Pneumonia From Acute Respiratory Distress Syndrome and High Altitude Pulmonary Edema: Therapeutic Implications. Circulation. 2020 Jul;142(2):101-4. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.047915
20. Pitscheider L, Karolyi M, Burkert FR, Helbok R, Wanschitz JV, Horlings C, et al. Muscle involvement in SARS-CoV-2 infection. Eur J Neurol. 2021 Oct;28(10):3411-3417. doi: 10.1111/ene.14564

Submitted 09.04.2024
Accepted 14.06.2024

Сведения об авторах:

Е.С. Панько – аспирант кафедры инфекционных болезней и детских инфекций Белорусской медицинской академии последиplomного образования; врач-педиатр 1-го инфекционного отделения, Брестская областная клиническая больница, <http://orcid.org/0000-0003-0610-1948>,

e-mail: panko.yekaterina@gmail.com – Панько Екатерина Сергеевна;

С.В. Жаворонок – д.м.н., профессор кафедры инфекционных болезней, Белорусский государственный медицинский университет, <http://orcid.org/0000-0001-9727-1103>;

А.М. Соловчук – аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий, Брестский государственный технический университет;

С.В. Панько – д.м.н., профессор, зав. кафедрой анатомии, физиологии и безопасности человека, Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина; торакальный хирург отделения торакальной хирургии, Брестская областная клиническая больница, <http://orcid.org/0000-0001-8665-2832>.

Information about authors:

E.S. Panko – postgraduate of the Chair of Infectious Diseases & Childhood Infections of Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Belarusian State Medical University; pediatrician of the 1st infectious diseases department, Brest Regional Clinical Hospital, <http://orcid.org/0000-0003-0610-1948>,

e-mail: panko.yekaterina@gmail.com – Ekaterina S. Panko;

S.V. Zhavoronok – Doctor of Medical Sciences, professor of the Chair of Infectious Diseases, Belarusian State Medical University, <http://orcid.org/0000-0001-9727-1103>;

A.M. Solovchuk – postgraduate of the Chair of Intelligent Information Technologies, Brest State Technical University;

S.V. Panko – Doctor of Medical Sciences, professor, head of the Chair of Anatomy, Physiology & Human Safety, Brest State University named after A.S. Pushkin; thoracic surgeon of the thoracic surgery department, Brest Regional Clinical Hospital, <http://orcid.org/0000-0001-8665-2832>.