

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ У БОЛЬНЫХ, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19

О. И. Савушкина^{1,2}✉, М. М. Малашенко², А. В. Черняк¹, Е. В. Крюков², Е. А. Синицын¹, К. А. Зыков¹¹ Научно-исследовательский институт пульмонологии Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия² Главный военный клинический госпиталь имени Н. Н. Бурденко, Москва, Россия

Дыхательные мышцы (ДМ) — важнейшее звено респираторной системы, обеспечивающее легочную вентиляцию. Целью исследования было оценить силу инспираторных (MIP) и экспираторных (MEP) ДМ после COVID-19 и выявить взаимосвязь показателей MIP и MEP с функциональными показателями системы дыхания. Проанализированы данные 36 пациентов (72% мужчин; медиана возраста — 47 лет), которым проводили спирометрию и бодиплетизмографию, определяли диффузионную способность легких (DLCO) и измеряли MIP/MEP. Медиана срока проведения исследований от начала COVID-19 составила 142 дня. Пациенты были разделены на две подгруппы. Медиана максимального объема поражения легочной ткани в острый период заболевания по КТ в подгруппе 1 составила 27%, в подгруппе 2 — 76%. Наиболее частым функциональным нарушением было снижение DLCO (выявлено у 20 (55%) пациентов). Снижение MIP и MEP было отмечено у 5 и 11 пациентов соответственно. Статистически значимых различий по показателям MIP и MEP между подгруппами выявлено не было, однако частота снижения MIP во второй подгруппе была выше (18%). Статистически значимых связей показателей MIP и MEP с параметрами вентиляции и легочного газообмена выявлено не было. Таким образом, у пациентов, перенесших COVID-19, обнаружено снижение MIP и MEP в 14 и 31% случаев соответственно. Исследование силы ДМ целесообразно включать в план обследования пациентов, перенесших COVID-19, для выявления их дисфункции и проведения медицинской реабилитации.

Ключевые слова: сила дыхательных мышц, спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест, пост-COVID-19, новая коронавирусная инфекция, SARS-CoV-2

Финансирование: в рамках выполнения государственного задания по теме: «Влияние новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 на функциональные показатели системы дыхания в период реконвалесценции» (шифр: «Пост-COVID-функциональная диагностика»).

Благодарности: инженеру ЗАО «Медицинские системы» М. Р. Зайтову за техническую поддержку.

Вклад авторов: О. И. Савушкина — разработка дизайна исследования, набор клинического материала, анализ и интерпретация результатов, написание текста; М. М. Малашенко — набор клинического материала, интерпретация результатов; А. В. Черняк — разработка дизайна исследования, набор клинического материала, анализ и интерпретация результатов, редактирование текста; Е. В. Крюков — концепция статьи, редактирование текста; Е. А. Синицын — интерпретация результатов, редактирование текста; К. А. Зыков — редактирование текста, утверждение итогового варианта текста рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом НИИ пульмонологии ФМБА России (протокол № 01-21, от 14 мая 2021 г.). Все участники исследования подписали информированное согласие.

✉ **Для корреспонденции:** Ольга Игоревна Савушкина
Ореховый бульвар, д. 28, 115682, г. Москва; olga-savushkina@yandex.ru

Статья получена: 19.07.2021 **Статья принята к печати:** 09.08.2021 **Опубликована онлайн:** 16.09.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.025

RESPIRATORY MUSCLE STRENGTH IN PATIENTS AFTER COVID-19

Savushkina OI^{1,2}✉, Malashenko MM², Cherniak AV¹, Kryukov EV², Sinitsyn EA¹, Zikov KA¹¹ Pulmonology Scientific Research Institute under Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia² Main Military Clinical Hospital named after academician N. N., Ministry of Defense, Moscow, Russia

Respiratory muscles (RM) are a very important part of the respiratory system that enables pulmonary ventilation. This study aimed to assess the post-COVID-19 strength of RM by estimating maximum static inspiratory (MIP or P_{lmax}) and expiratory (MEP or P_Emax) pressures and to identify the relationship between MIP and MEP and the parameters of lung function. We analyzed the data of 36 patients (72% male; median age 47 years) who underwent spirometry, and body plethysmography, diffusion test for carbon monoxide (DLCO) and measurement of MIP and MEP. The median time between the examinations and onset of COVID-19 was 142 days. The patients were divided into two subgroups. In subgroup 1, as registered with computed tomography, the median of the maximum lung tissue damage volume in the acute period was 27%, in subgroup 2 it reached 76%. The most common functional impairment was decreased DLCO, detected in 20 (55%) patients. Decreased MIP and MEP were observed in 5 and 11 patients, respectively. The subgroups did not differ significantly in MIP and MEP values, but decreased MIP was registered in the second subgroup more often (18%). There were identified no significant dependencies between MIP/MEP and the parameters of ventilation and pulmonary gas exchange. Thus, in patients after COVID-19, MIP and MEP were reduced in 14 and 31% of cases, respectively. It is reasonable to add RM tests to the COVID-19 patient examination plan in order to check them for dysfunction and carry out medical rehabilitation.

Keywords: respiratory muscle strength, spirometry, body plethysmography, diffusion test, post-COVID-19, new coronavirus infection

Funding: ordered by the state under the research topic "Impact of the new coronavirus infection SARS-CoV-2 on the functional parameters of respiratory system during the convalescence period" (code: "Post-COVID functional diagnostics").

Acknowledgements: we would like to thank Zaitov M. R., engineer of ZAO Meditsinskoye Sistemy, for technical support.

Author contribution: Savushkina OI — study design development, clinical material collection, analysis and interpretation of the results, article authoring; Malashenko MM — clinical material collection, interpretation of the results; Cherniak AV — study design development, clinical material collection, analysis and interpretation of the results, article editing; Kryukov EV — article concept development, editing; Sinitsyn EA — interpretation of the results, article editing; Zikov KA — article editing, approval of the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the Pulmonology Scientific Research Institute of the FMBA of Russia (minutes № 01-21 of May 14, 2021). All study participants signed informed consent.

✉ **Correspondence should be addressed:** Olga I. Savushkina
Orekhovy bulvar, 28, Moscow, 115682; olga-savushkina@yandex.ru

Received: 19.07.2021 **Accepted:** 09.08.2021 **Published online:** 16.09.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.025

COVID-19 — инфекционное высококонтагиозное заболевание, вызываемое новым коронавирусом SARS-CoV-2, одной из главных мишеней которого является респираторная система, что стало основной причиной госпитализации таких больных. Большинство научных исследований COVID-19 было сосредоточено на изучении патогенеза и лечении острой фазы заболевания с целью минимизировать летальные исходы. Однако по мере накопления знаний стало понятно, что COVID-19 — мультисистемное заболевание, последствия которого в настоящий момент изучены недостаточно.

С точки зрения поражения респираторной системы основным функциональным нарушением в постковидный период является снижение диффузионной способности легких (ДСЛ), реже выявляется рестриктивный тип вентиляционных нарушений и еще реже — обструкция дыхательных путей (ДП) [1–3]. Полученные данные принимают во внимание при составлении индивидуальных программ медицинской реабилитации пациентов, перенесших COVID-19. Однако объектами медицинской реабилитации после перенесенного COVID-19 являются не только респираторная, но и сердечно-сосудистая система, а также периферическая скелетная мускулатура, слабость и утомляемость которой развиваются в результате тяжелого и крайне тяжелого течения COVID-19.

К скелетной мускулатуре относят также дыхательные мышцы (ДМ), которые являются важнейшим звеном респираторной системы, обеспечивающим легочную вентиляцию. Патологические изменения респираторной мускулатуры были хорошо изучены после перенесенной внебольничной пневмонии (ВП) [4, 5], после торакальных вмешательств [6]. При проведении сравнительного анализа силы ДМ при ВП с различной тяжестью эндогенной интоксикации показано, что основным внелегочным механизмом развития дисфункции ДМ является эндогенная интоксикация, которая вызывает локальное воспаление и повреждение миофибрилл [5]. Кроме того, утомлению ДМ способствует гипервентиляционный синдром, обусловленный артериальной гипоксемией. Слабость ДМ может также развиваться при приеме глюкокортикостероидов [7, 8]. Однако в доступной нам литературе найдены лишь единичные данные об исследовании силы дыхательных мышц после COVID-19 [9, 10].

Наиболее распространенным методом оценки силы ДМ является измерение максимального статического ротового давления, которое возникает у пациента при закрытых ДП во время максимального вдоха (MIP) и выдоха (MEP). Таким образом, целью данного исследования было оценить силу ДМ у больных, перенесших COVID-19, и выявить взаимосвязь показателей MIP и MEP с другими функциональными показателями системы дыхания.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В обсервационное поперечное исследование были включены 36 пациентов (26 мужчин, медиана возраста составила 47 лет), госпитализированных в медицинские стационары с диагнозом «интерстициальный процесс в легких вследствие перенесенной новой коронавирусной инфекции» (J98.4). Критерий включения пациентов в исследование: наличие подтвержденного диагноза перенесенной новой коронавирусной инфекции COVID-19 среднетяжелого или тяжелого течения, двустороннего вирусного поражения легких. Во всех случаях диагноз был подтвержден методом полимеразной цепной реакции.

Критерий исключения: хроническое заболевание легких в анамнезе. В настоящем исследовании пациентам в процессе одного визита были проведены функциональные исследования системы дыхания, такие как форсированная спирометрия, бодиплетизмография, измерение ДСЛ и силы ДМ на оборудовании MasterScreen Body/Diff (Viasys Healthcare / ErichJager, Vyair Medical / ErichJager; Германия).

Все исследования были выполнены с учетом отечественных и международных стандартов [11–14], в том числе в соответствии с рекомендациями Российского респираторного общества по проведению функциональных исследований системы дыхания в период пандемии COVID-19 [15].

Диффузионную способность легких оценивали по монооксиду углерода (CO) методом однократного вдоха с задержкой дыхания посредством анализатора быстрого реагирования (RGA).

Анализировали показатели:

1) спирометрии (форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁), ОФВ₁/ФЖЕЛ, объемную скорость на кривой поток–объем форсированного выдоха между 25 и 75% выдохнутой ФЖЕЛ (СОС₂₅₋₇₅));

2) бодиплетизмографии (спокойную жизненную емкость легких (ЖЕЛ), общую емкость легких (ОЕЛ), остаточный объем легких (ООЛ) и его отношение к ОЕЛ (ООЛ/ОЕЛ), внутригрудной объем газа (ВГО), емкость вдоха (E_{ад}), общее бронхиальное сопротивление (Raw_{общ}));

3) ДСЛ (трансфер-фактор СО, скорректированный на уровень гемоглобина (DLCO) и его отношение к альвеолярному объему (VA) — DLCO/VA);

4) MIP и MEP.

Анализируемые данные представляли в процентах от должных значений (%_{долж.}), которые были рассчитаны по уравнениям Европейского сообщества стали и угля [16] с учетом пола, возраста и роста пациента. Должные значения для показателей MIP и MEP рассчитывали по описанным ранее уравнениям [17]. За норму принимали значения более 75%_{долж.} [18].

На момент выполнения функциональных исследований системы дыхания по данным компьютерных томограмм органов грудной клетки высокого разрешения (КТ) у обследованных пациентов сохранялись поствоспалительные изменения в легких различной степени выраженности. Общая группа обследованных была разделена на две подгруппы в зависимости от максимальной площади поражения легких, обусловленного SARS-CoV-2 в острый период заболевания. Пациентов с площадью поражения легочной ткани 50% и менее включили в подгруппу 1, с площадью более 50% — в подгруппу 2.

Сопутствующие заболевания имели 16 (44%) пациентов: 7 пациентов — гипертоническую болезнь (ГБ), 4 пациента — ГБ и сахарный диабет (СД) 2-го типа, по одному пациенту — СД 1-го типа, варикозное расширение вен, миокардит, псориаз, железодефицитную анемию.

Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc.; США). Для оценки нормальности распределения переменных применяли W-тест Шапиро–Уилка. Количественные переменные, распределение которых отличалось от нормального, представляли в виде медиан (Me) и интерквартильного размаха (Q₁–Q₃), номинативные переменные — количеством пациентов (n). Сравнение непараметрических количественных показателей двух групп проводили с

применением непараметрического критерия Манна–Уитни для независимых выборок, качественных переменных — с применением точного критерия Фишера. Корреляционный анализ выполняли с использованием ранговой корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Медиана срока проведения функциональных исследований системы дыхания от начала COVID-19 составила 142 (108–186) дня.

Характеристика пациентов всей группы в целом, а также подгрупп 1 и 2 представлена в табл. 1.

Статистически значимых различий между подгруппами по возрасту, полу, росту, индексу массы тела выявлено не было.

Большинство пациентов в обеих подгруппах были некурящие, и лишь незначительное количество курящих было в подгруппе 1.

Медиана максимального объема поражения легочной ткани (КТмакс.) в острый период заболевания составила в 1-й подгруппе 27%, в подгруппе 2 статистически значимо выше — 76%. Длительность пребывания в медицинском стационаре во время COVID-19 в подгруппе 2 была статистически значимо больше.

Анализ данных функциональных исследований системы дыхания всей группы в целом, а также подгрупп 1 и 2 представлен в табл. 2.

В общей группе медианы всех анализируемых функциональных показателей системы дыхания сохранялись в пределах нормальных значений, за исключением снижения показателя DLCO у 20 (55%) пациентов. Кроме того, у 5 (14%) пациентов было выявлено снижение показателя ОЕЛ, у одного пациента — снижение ЖЕЛ и ОФВ₁/ЖЕЛ (ОФВ₁/ЖЕЛ < 0,7), у 5 (14%) и у 11 (31%) — снижение показателей МIP и МЕР соответственно. Необходимо обратить внимание, что снижение ОЕЛ было выявлено преимущественно у пациентов подгруппы 2 и лишь в одном случае в подгруппе 1. У 8 пациентов был снижен ООЛ, у 3 из них изолированно при сохранении ОЕЛ в пределах нормальных значений.

Между подгруппами 1 и 2 были выявлены различия по показателям ООЛ и DLCO, которые были статистически значимо ниже в подгруппе 2. Статистически значимых различий по показателям МIP и МЕР между подгруппами выявлено не было, однако частота снижения МIP в подгруппе 2 была выше (18%), тогда как МЕР снижался практически с одинаковой частотой.

При проведении корреляционного анализа статистически значимых связей показателей МIP и МЕР

с изучаемыми параметрами вентиляции и легочного газообмена выявлено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наблюдение за COVID-19-реконвалесцентами указывает на то, что после выписки из медицинского стационара в течение длительного времени полного функционального восстановления не происходит. Пациенты продолжают жаловаться на одышку, общую слабость, повышенную утомляемость, снижение качества жизни. Кроме того, выявляются нарушения функции системы дыхания, сердечно-сосудистой системы, а также нейропатии и миопатии, обусловленные в первую очередь крайне тяжелым течением COVID-19, требующим искусственной вентиляции легких.

Вместе с тем, даже при легком и среднетяжелом течении COVID-19 в той или иной степени имеет место данная симптоматика. Снижение силы ДМ — это часть общего синдрома нейропатии и миопатии, обусловленного течением COVID-19, что указывает на необходимость коррекции данной симптоматики методами медицинской реабилитации.

Так, в Консенсусном соглашении экспертов по дыхательным техникам, рекомендуемым для включения в программу медицинской реабилитации больных COVID-19, особое внимание уделено тренингу инспираторных мышц для улучшения вентиляционно-перфузионных отношений и оксигенации [19]. Однако в настоящем исследовании частота выявления снижения максимального экспираторного усилия была в два раза больше по сравнению с инспираторным, что дает основание для рассмотрения дыхательных техник для тренировки экспираторных ДМ.

Вместе с тем, физиотерапевтические факторы, такие как электростимуляция, массаж грудной клетки с коррекцией мышечных триггеров и миофасциальным релизом, инфракрасная лазерная терапия и магнитотерапия по зонам грудной клетки способствуют улучшению микроциркуляции и функционального состояния как инспираторных, так и экспираторных ДМ.

В настоящем исследовании обращает на себя внимание отсутствие статистически значимых различий параметров МIP и МЕР между подгруппами, т. е. в зависимости от площади поражения легочной ткани в острый период заболевания. Полученные результаты согласуются с литературными данными [9, 10], что дает основание судить о иных факторах, возможно биохимических, в том числе влияющих на центральные механизмы регуляции акта дыхания и, соответственно, на функциональное состояние ДМ после перенесенного COVID-19.

Таблица 1. Характеристика пациентов

Показатель	Общая группа <i>n</i> = 36	Подгруппа 1 <i>n</i> = 14	Подгруппа 2 <i>n</i> = 22	<i>p</i> *
Пол, мужчины, <i>n</i> (%)	26 (72)	8 (57)	18 (82)	NS
Возраст, годы	47 (40–58)	46 (39–59)	48 (42–57)	NS
Рост, см	174 (165–181)	170 (165–183)	174 (165–179)	NS
ИМТ, кг/м ²	29 (26–32)	30 (25–32)	29 (27–31)	NS
Табакокурение, нет/экс-курящие/курящие, %	69/28/3	72/21/7	68/32	–
Длительность госпитализации во время COVID-19	18 (13–25)	14 (8–16)	23 (15–27)	0,01

Примечание: данные представлены как количество (*n*) или медиана (нижний квартиль — верхний квартиль). ИМТ — индекс массы тела; * — сравнивали подгруппы 1 и 2 с помощью критерия Манна–Уитни; NS — статистических различий между подгруппами 1 и 2 не выявлено.

Таблица 2. Показатели спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста, силы дыхательных мышц

Показатель	Общая группа <i>n</i> = 36	Подгруппа 1 <i>n</i> = 14	Подгруппа 2 <i>n</i> = 22	<i>p</i>
ЖЕЛ, % _{долж}	106 (95–120)	111 (103–123)	104 (92–112)	NS
ЖЕЛ < 80% _{долж} *, <i>n</i>	1	0	1	NS
ФЖЕЛ, % _{долж}	109 (99–123)	116 (106–125)	107 (96–114)	NS
ОФВ ₁ , % _{долж}	105 (98–125)	119 (102–128)	103 (97–116)	NS
ОФВ ₁ < 80% _{долж} *, <i>n</i>	1	0	1	NS
ОФВ ₁ /ЖЕЛ, %	82 (78–84)	82 (78–84)	83 (78–86)	NS
ОФВ ₁ /ЖЕЛ < 0,7, <i>n</i>	1	0	1	NS
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, %	83 (80–85)	82 (80–84)	83 (80–86)	NS
СОС _{25–75} *, % _{долж}	109 (93–123)	110 (103–121)	105 (92–125)	NS
ОЕЛ, % _{долж}	100 (90–109)	108 (98–114)	97 (85–105)	NS
ОЕЛ < 80% _{долж} *, <i>n</i>	5	1	4	NS
ВГО, % _{долж}	87 (75–101)	93 (75–105)	85 (75–95)	NS
Е _{вд} *, % _{долж}	114 (102–126)	114 (109–137)	114 (95–125)	NS
ООЛ, % _{долж}	88 (81–97)	89 (81–97)	85 (73–89)	0,03
ООЛ < 80% _{долж} *, <i>n</i>	8	0	8	0,011
ООЛ/ОЕЛ, % _{долж}	83 (78–89)	108 (98–119)	82 (79–86)	NS
Raw _{общ} † кПа·с/л	0,22 (0,17–0,29)	0,23 (0,19–0,30)	0,2 (0,17–0,29)	NS
DLCO, % _{долж}	77 (68–89)	87 (76–95)	72 (67–83)	0,014
DLCO < 80% _{долж} *, <i>n</i>	20	5	15	0,058
DLCO/VA, % _{долж}	90 (82–98)	96 (86–103)	87 (79–93)	NS
MIP, % _{долж}	108 (89–135)	114 (91–137)	102 (85–129)	NS
MIP снижена, <i>n</i>	5	1	4	NS
MEP, % _{долж}	87 (72–105)	86 (74–108)	87 (71–103)	NS
MEP снижена, <i>n</i>	11	4	7	NS

Примечание: данные представлены как медиана (нижний квартиль — верхний квартиль); * — сравнивали подгруппы 1 и 2 с помощью критерия Манна-Уитни; NS — статистических различий между подгруппами 1 и 2 не выявлено.

В настоящем исследовании, медиана срока проведения которого составила 142 дня от начала COVID-19, наиболее частым функциональным нарушением было снижение ДСЛ (в 55% случаев) преимущественно у пациентов с площадью поражения легочной ткани в острый период заболевания более 50% (подгруппа 2), рестриктивный тип вентиляционных нарушений был выявлен у 5 (14%) пациентов, из них у 4 (18%) — тоже в подгруппе 2, обструкция ДП — у 1 пациента. В метаанализе, проведенном в ранний период реконвалесценции после COVID-19 (от 1 до 3 месяцев), было установлено, что после перенесенного COVID-19 распространенность снижения ДСЛ составляет 39% (ДИ: 24–56%; $p < 0,01$; индекс гетерогенности (I^2) — 86%), рестриктивного типа вентиляционных нарушений — 15% (ДИ: 9–22%; $p = 0,03$; $I^2 = 59%$), обструкции ДП — 7% (ДИ: 4–11%; $p = 0,31$; $I^2 = 16%$) [3].

Результаты, полученные в настоящем исследовании, согласуются с приведенными данными метаанализа, однако настоящее исследование было проведено в более поздние сроки выздоровления после COVID-19, что может указывать на медленную динамику восстановления функции системы дыхания после перенесенного заболевания.

Статистически значимых корреляционных связей между максимальным статическим ротовым давлением и функциональными показателями системы дыхания выявлено не было, что еще раз подтверждает важность измерения силы ДМ, особенно у пациентов, жалующихся

на одышку и быструю утомляемость при сохраненных в пределах нормальных значений параметров традиционных легочных функциональных тестов.

Работы по изучению влияния COVID-19 на силу ДМ необходимо продолжить с целью исследования взаимосвязи параметров MIP и MEP с количественной оценкой силы мышц по шкале MRC Weakness, а также с тяжестью одышки по шкале mMRC.

Особое внимание изучению силы ДМ следует уделить в случаях крайне тяжелого течения COVID-19, т. е. у пациентов с синдромом последствий интенсивной терапии (ПИТ-синдромом), при котором выявляются такие проблемы, как общая мышечная слабость, уменьшение объема мышечной массы, снижение физической работоспособности и мышечной силы, в том числе силы инспираторных мышц с возможным развитием атрофии диафрагмы, ведущей к ее дисфункции. Измерение параметров MIP и MEP в динамике у таких пациентов позволит более корректно подобрать программу медицинской реабилитации (МП) и прогнозировать исход выявленных нарушений.

Кроме того, учитывая, что сила мышц напрямую зависит от белкового обмена, целесообразно проанализировать взаимосвязь общего белка крови с показателями MIP и MEP, и в случае их снижения рассмотреть вопрос о нутритивной поддержке таких пациентов.

Таким образом, исследование силы ДМ является важным дополнением к традиционно используемым легочным функциональным тестам, которое позволяет

получать информацию о функциональном состоянии ДМ с целью профилактики патологических состояний и адекватного клинического лечения.

ВЫВОДЫ

У пациентов, перенесших COVID-19 различной степени тяжести, выявляется снижение максимального статического

ротового давления, в большей степени экспираторного — в 31% случаев, инспираторного — в 14% случаев. Статистически значимой взаимосвязи параметров MIP и MEP с показателями вентиляции и легочного газообмена выявлено не было. Исследование силы дыхательных мышц целесообразно включать в план обследования пациентов, перенесших COVID-19, с целью выявления их дисфункции и своевременного проведения медицинской реабилитации.

Литература

1. Савушкина О. И., Черняк А. В., Крюков Е. В., Кулагина И. Ц., Самсонова М. В., Калманова Е. Н. и др. Функциональные нарушения системы дыхания в период раннего выздоровления после COVID-19. Медицинский алфавит. 2020; 25: 7–12. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-25-7-12.
2. Зайцев А. А., Савушкина О. И., Черняк А. В., Кулагина И. Ц., Крюков Е. В. Клинико-функциональная характеристика пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию COVID-19. Практическая пульмонология. 2020; 1: 78–81.
3. Torres-Castro R, Vasconcello-Castillo L, Alsina-Restoy X, Solis-Navarro L, Burgos F, Puppo H, et al. Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. Pulmonology. 2021; 27 (4): 328–37. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2020.10.013.
4. Дей А. А., Кожанов А. Г., Гельцер Б. И. Результаты исследования силы дыхательных мышц у лиц молодого возраста с внебольничной пневмонией. Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020; 77: 34–40. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-77-34-40.
5. Гельцер Б. И., Дей А. А., Титоренко И. Н., Котельников В. Н. Сравнительный анализ силы дыхательных мышц при внебольничной пневмонии с различной тяжестью эндогенной интоксикации. Терапевтический архив. 2020; 92 (3): 19–24. DOI: 10.26442/00403660.2020.03.000372.
6. Кожанов А. Г., Копеев В. А., Гельцер Б. И. Оценка силы дыхательных мышц в ранние сроки после торакальных вмешательств. Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020; 75: 32–39. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-75-32-39.
7. Авдеев С. Н. Оценка силы дыхательных мышц в клинической практике. Пульмонология и аллергология. 2008; 4: 12–17.
8. Сегизбаева М. О., Александрова Н. П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных. Физиология человека. 2019; 45 (2): 115–27. DOI: 10.1134/S0131164619010120.
9. 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; 21 (1): 163. DOI: 10.1186/s12931-020-01429-6.
10. Guler SA, Ebner L, Beigelman C, Bridevaux P, Brutsche M, Clarenbach C, et al. Pulmonary function and radiological features four months after COVID-19: first results from the national prospective observational Swiss COVID-19 lung study. Eur Respir J. 2021; 57 (4): 2003690. DOI: 10.1183/13993003.03690-2020.
11. Чучалин А. Г., Айсанов З. Р., Чикина С. Ю., Черняк А. В., Калманова Е. Н. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. Пульмонология. 2014; 6: 11–23.
12. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of spirometry 2019 update an official American thoracic society and European respiratory society technical statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019; 200 (8): 70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
13. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. Eur Respir J. 2005; 26 (3): 511–22. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
14. Graham BL, Brusasco V, Burgos F, Cooper BG, Jensen R, Kendrick A, et al. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. Eur Respir J. 2017; 49: 1600016. DOI: 10.1183/13993003.00016-2016.
15. Айсанов З. Р., Калманова Е. Н., Каменева М. Ю., Кирюхина Л. Д., Лукина О. Ф., Науменко Ж. К. и др. Рекомендации Российского респираторного общества по проведению функциональных исследований системы дыхания в период пандемии COVID-19. Версия 1.1. от 19.05.2020. Доступно по ссылке: https://spulmo.ru/upload/rekomendacii_rrro_fvd_COVID_19_rev1_1_01062020.pdf.
16. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J. 1993; 6 (Suppl.16): 5–40. PMID: 8499054.
17. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dreset M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. Eur Respir J. 2019; 53: 1801214. DOI: 10.1183/13993003.01214-2018.
18. Evans JA, Whitelaw W. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. Respir Care. 2009; 54 (10): 1348–59.
19. Бубнова М. Г., Шляхто Е. В., Аронов Д. М., Белевский А. С., Герасименко М. Ю., Глезер М. Г. и др. Новая коронавирусная инфекционная болезнь COVID-19: особенности комплексной кардиологической и респираторной реабилитации. Российский кардиологический журнал. 2021; 26 (5): 4487. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4487.

References

1. Savushkina OI, Cherniak AV, Kryukov EV, Kulagina ITs, Samsonova MV, Kalmanova EN et al. Pulmonary function after COVID-19 in early convalescence phase. Medical alphabet. 2020; (25): 7–12. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-25-7-12. Russian.
2. Zaitsev AA, Savushkina OI, Cherniak AV, Kulagina ITs, Kryukov EV. Clinical and functional characteristics of patients who recovered from the novel coronavirus infection (COVID-19). Practical pulmonology. 2020; 1: 78–81. Russian.
3. Torres-Castro R, Vasconcello-Castillo L, Alsina-Restoy X, Solis-Navarro L, Burgos F, Puppo H, et al. Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. Pulmonology. 2021; 27 (4): 328–37. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2020.10.013.
4. Dei AA, Kozhanov AG, Geltser BI. Results of respiratory muscle strength study in young persons with community-acquired pneumonia. Bulletin Physiology and Pathology of Respiration. 2020; 77: 34–40. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-77-34-40. Russian.
5. Geltser BI, Dej AA, Titorenko IN, Kotelnikov VN. Comparative analysis of the strength of the respiratory muscles in community-

- acquired pneumonia with different severity of endogenous intoxication. *Terapevticheskii arkhiv*. 2020; 92 (3): 19–24. DOI: 10.26442/00403660.2020.03.000372. Russian.
6. Kozhanov AG, Kopaev VA, Geltzer BI. Assessment of the strength of the respiratory muscles in the early stages after thoracic interventions. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2020; Issue 75: 32–39. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-75-32-39. Russian.
 7. Avdeev SN. Assessment of the strength of the respiratory muscles in the clinical practice. *Pulmonology and allergology*. 2008; 4: 12–17. Russian.
 8. Segizbaeva MO, Aleksandrova NP. Assessment of the functional status of respiratory muscles: methodical aspects and interpretation of data. *Human Physiology*. 2019; 45 (2): 115–27. DOI: 10.1134/S0131164619010120. Russian.
 9. 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; 21 (1): 163. DOI: 10.1186/s12931-020-01429-6.
 10. Guler SA, Ebner L, Beigelman C, Bridevaux P, Brutsche M, Clarenbach C, et al. Pulmonary function and radiological features four months after COVID-19: first results from the national prospective observational Swiss COVID-19 lung study. *Eur Respir J*. 2021; 57 (4): 2003690. DOI: 10.1183/13993003.03690-2020.
 11. Chuchalin AG, Aysanov ZR, Chikina SYu, Chernyak AV, Kalmanova EN. Federal guidelines of Russian Respiratory Society on spirometry. *Pulmonology*. 2014; (6): 11–23. Russian.
 12. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of spirometry 2019 update an official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019; 200 (8): 70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
 13. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J*. 2005; 26 (3): 511–22. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
 14. Graham BL, Brusasco V, Burgos F, Cooper BG, Jensen R, Kendrick A, et al. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J*. 2017; 49: 1600016. DOI: 10.1183/13993003.00016-2016.
 15. Aysanov ZR, Kalmanova EN, Kameneva MYu, Kirukhina LD, Lukina OF, Naumenko JK, et al. Guideline of the Russian Respiratory Society for functional diagnostics of the respiratory system during the COVID-19 pandemic. Ver. 1.1. from 19.05.2020. Available from: https://spulmo.ru/upload/rekomendacii_rrro_fvd_COVID_19_rev1_1_01062020.pdf. Russian.
 16. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J*. 1993; 6 (Suppl.16): 5–40. PMID: 8499054.
 17. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dreset M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019; 53: 1801214. DOI: 10.1183/13993003.01214-2018.
 18. Evans JA, Whitelaw W. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care*. 2009; 54 (10): 1348–59.
 19. Bubnova MG, Shlyakhto EV, Aronov DM, Belevsky AS, Gerasimenko MYu, Glezer MG et al. Coronavirus disease 2019: features of comprehensive cardiac and pulmonary rehabilitation. *Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26 (5): 4487. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4487.