

КОМБИНИРОВАННАЯ АКТИВНО-ПАССИВНАЯ КИНЕЗИОТЕРАПИИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ COVID-19 РАЗЛИЧНОЙ ТЯЖЕСТИ ТЕЧЕНИЯ

МИНАСОВ БУЛАТ ШАМИЛЬЕВИЧ, ORCID ID: 0000-0002-1733-9823, докт. мед. наук, профессор, зав. кафедрой травматологии и ортопедии с курсом Института дополнительного последиplomного образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. Тел.: +7-347-255-76-66. E-mail: minasov@rambler.ru

ЗУЛКАРНЕЕВ РУСТЭМ ХАЛИТОВИЧ, ORCID ID: 0000-0002-9749-7070, докт. мед. наук, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: zurustem@mail.ru

МИНАСОВ ТИМУР БУЛАТОВИЧ, ORCID ID: 0000-0003-1916-383, докт. мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии с курсом Института дополнительного последиplomного образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: m004@yandex.ru

ВАЛИШИН ДАМИР АСХАТОВИЧ, ORCID ID: 0000-0002-1811-9320, докт. мед. наук, профессор, зав. кафедрой инфекционных болезней с курсом Института дополнительного последиplomного образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: infecti4@mail.ru

МИНАСОВ ИСКАНДЕР БУЛАТОВИЧ, ORCID ID: 0000-0002-1982-1365, канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской реабилитации, физической терапии и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: m01b@ya.ru

ЕВГРАФОВ ИГОРЬ ОЛЕГОВИЧ, ассистент кафедры травматологии и ортопедии с курсом Института дополнительного последиplomного образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: help@medrocket.ru

ЛАСЫНОВА ГУЛЬНАЗ ХАЙБУЛЛОВНА, ORCID ID: 0000-0001-5193-2164, зав. отделением медицинской реабилитации Клиники ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450096, Уфа, ул. Шафиева, 2. E-mail: lasynova1987@mail.ru

НАЗЫРОВА РЕЗЕДА МАРАТОВНА, врач отделения медицинской реабилитации Клиники ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450096, Уфа, ул. Шафиева, 2. E-mail: latipova.rezeda2016@yandex.ru

Реферат. Введение. Для восстановления качества жизни пациентов, перенесших COVID-19, необходима реабилитация. **Цель исследования:** оценить эффективность и безопасность реабилитации на основе комбинированной активно-пассивной кинезиотерапии после COVID-19 различной тяжести течения. **Материалы и методы.** Дизайн исследования: сравнительный, проспективный, открытый. Обследованы 17 пациентов после COVID-19 средней тяжести (С_COV19), и 21 пациент после COVID-19 тяжелого течения (Т_COV19). Курс реабилитации включал 6 процедур активной и 10 процедур пассивной кинезиотерапии в течение 2 недель. Активная кинезиотерапия включала комплекс лечебной физкультуры и упражнения дыхательной гимнастики. Пассивная кинезиотерапия проводилась с помощью механотерапевтического комплекса ОРМЕД-КИНЕЗО. Производились ритмичные пассивные сгибательно-разгибательные движения в грудном отделе позвоночника пациента с комфортной частотой 12-20 движений в минуту, продолжительность процедуры 10 минут. Эффект оценивался с помощью индексов одышки Baseline Dyspnea Index (BDI), Transition Dyspnea Index (TDI), спирографии, 6-минутного теста ходьбы (6 Minute Walk Test (6-MWT)). Для показателей спирографии рассчитывались индивидуальные должные нормальные величины по формулам Global Lung Function Initiative (GLI) и вычислялись относительные должные величины по формуле: относительная должная величина – %должн = измеренная величина / должная нормальная величина x 100%. Данные приведены в виде «медиана [95% доверительный интервал]». **Результаты.** Исходно пациенты страдали от умеренной одышки, BDI в группе С_COV19 - 9(6;9), Т_COV19 - 8(6;9), $p=0,89$. После курса реабилитации пациенты в обеих группах отметили уменьшение одышки, TDI +6(3,7;6,3) и +4(3,7;6,0), соответственно, $p=0,53$. Исходно показатели спирографии были снижены по рестриктивному типу. Жизненная емкость легких в группе С_COV19 составила 72,0(67,3;82,3)%должн, Т_COV19 - 59,0(47,0; 68,7)%должн, $p<0,001$. После реабилитации прирост жизненной ёмкости легких составил +6,5[3,0;10,5]%должн, $p=0,001$, и +7,0[3,0;14,0]%должн, $p=0,001$, и не различался между группами, $p=0,88$. Прирост форсированной жизненной емкости легких +5,5[2,0;10,5]%должн, $p=0,002$, и прирост объема форсированного выдоха за 1 секунду +10,0[3,5;23,0]%должн, $p=0,003$, отмечены только в группе С_COV19. Дистанция 6-MWT в группе С_COV19 увеличилась с 364(332;431) до 400(351;495) метров, $p=0,001$, в группе Т_COV19 - с 322(238;347) до 356(322;381) метров, $p=0,001$. Медианы прироста 6-MWT составили +43[26;74] и +37[21;59] метров, соответственно, и не отличались между собой, $p=0,56$. **Выводы.** Предлагаемая методика реабилитации после COVID-19 с применением комбинированной активно-пассивной кинезиотерапии обладает сопоставимой эффективностью и безопасностью у пациентов, перенесших COVID-19 в среднетяжелой и тяжелой форме, и способствует уменьшению одышки и повышению физической работоспособности. В отношении функции внешнего дыхания реабилитационный эффект методики наиболее выражен у пациентов, перенесших COVID-19 средней тяжести.

Ключевые слова: COVID-19, реабилитация, кинезиотерапия.

Для ссылки: Минасов Б.Ш., Зулкарнеев Р.Х., Минасов Т.Б. [и др.]. Комбинированная активно-пассивная кинезиотерапии в реабилитации после COVID-19 различной тяжести течения // Вестник современной клинической медицины. – 2024. – Т. 17, вып. 4. – С.117–126. DOI: 10.20969/VSKM.2024.17(4).117-126.

COMBINED ACTIVE AND PASSIVE KINESIOTHERAPY IN REHABILITATION AFTER COVID-19 OF VARYING SEVERITY

MINASOV BULAT SH., ORCID ID: 0000-0002-1733-9823, Dr. sc. med., Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics with the Course of Postgraduate Education Institute, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 450008 Ufa, Russia. Phone: +7-347-255-76-66. E-mail: minasov@rambler.ru

ZULKARNEEV RUSTEM H., ORCID ID: 0000-0002-9749-7070, Dr. sc. med., Professor at the Department of Internal Medicine (Propaedeutics), Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 450008 Ufa, Russia. E-mail: zurustem@mail.ru

MINASOV TIMUR B., ORCID ID: 0000-0003-1916-383, Dr. sc. med., Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics with the Course of Postgraduate Education Institute, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 420008 Ufa, Russia. E-mail: m004@yandex.ru

VALISHIN DAMIR A., ORCID ID: 0000-0002-1811-9320, Dr. sc. med., Professor, Head of the Department of Infectious Diseases with the Course of Postgraduate Education Institute, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 450008 Ufa, Russia. E-mail: infecti4@mail.ru

MINASOV ISKANDER B., ORCID ID: 0000-0002-1982-1365. Cand. sc. med., Associate Professor, Department of Medical Rehabilitation and Sports Medicine, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 450008 Ufa, Russia. E-mail: m01b@ya.ru

EVGRAFOV IGOR O., Assistant Professor, Department of Traumatology and Orthopedics with the Course of Postgraduate Education Institute, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., 450008 Ufa, Russia. E-mail: help@medrocket.ru

LASYNOVA GULNAZ H., ORCID ID: 0000-0001-5193-2164, Head of the Medical Rehabilitation Department, University Hospital, Bashkir State Medical University, E-mail: lasynova1987@mail.ru

NAZYROVA REZEDA M., Physician, Medical Rehabilitation Department, University Hospital, Bashkir State Medical University, 2 Shafiev str., 450096 Ufa, Russia. E-mail: latipova.rezeda2016@yandex.ru

Abstract. Introduction. Rehabilitation is necessary to restore the quality of life of post-COVID-19 patients. **Aim** of the study is to evaluate effectiveness and safety of the rehabilitation using combined active and passive kinesiotherapy after COVID-19 of varying severity. **Materials and Methods.** Study design: comparative, prospective, open. The study involved 17 patients after moderate COVID-19 (M_COV19) and 21 patients after severe COVID-19 (S_COV19). The 2-week rehabilitation course consisted of 6 active and 10 passive kinesiotherapy procedures. Active kinesiotherapy included breathing training and physical exercises. Passive kinesiotherapy was carried out using the ORMED-KINESO mechanotherapy device. Passive rhythmic flexion-extension movements were performed in the patient's thoracic spine with a comfortable frequency of 12-20/min within a 10-minute procedure. The rehabilitation effect was assessed using Baseline and Transition Dyspnea Indices (BDI-TDI), spirometry, and the 6-minute walk test (6-MWT). For spirometry, individual predicted normal values were calculated using the Global Lung Function Initiative (GLI) equations, and the relative predicted values were calculated by the formula: %predicted = measured value/predicted normal value*100%. The data are given as Median (Quartile1, Quartile3), while changes are presented as Median [95% confidence interval]. **Results and Discussion.** At baseline, the patients suffered from dyspnea. BDI was 9(6;9) in M_COV19 and 8(6;9) in S_COV19, p=0.89. All patients noted a decrease in dyspnea after rehabilitation. TDI was +6(3.7;6.3) and +4(3.7;6.0), respectively, p=0.53. Spirometry showed restrictive limitation of pulmonary function. Vital capacity (VC) was 72.0(67.3;82.3)%predicted in M_COV19 and 59.0(47.0;68.7)%predicted in S_COV19, p<0.001. After rehabilitation, the increase in VC was +6.5[3;10.5]%predicted, p=0.001, and +7.0[3.0;14.0]%predicted, p=0.001, respectively, no difference between groups, p=0.88. Only in M_COV19, forced vital capacity(FVC) increased by +5.5[2.0;10.5]%predicted, p=0.002, and 1st-second forced expiratory volume (FEV₁) increased by +10.0[3.5;23.0]%predicted, p=0.003. After rehabilitation the 6-MWT distance increased from 364(332;431)m to 400(351;495)m, p=0.001, in M_COV19 and it increased from 322(238;347)m to 356(322;381)m, p=0.001, in S_COV19. 6-MWT median gain was +43[26;74]m and +37[21;59] m, respectively, no significant difference, p=0.56. **Conclusions.** Combined active and passive kinesiotherapy demonstrated comparable rehabilitation effectiveness and safety in patients after both moderate and severe COVID-19. The rehabilitation course reduced dyspnea and increased physical performances in both groups. Pulmonary function improvement was more significant in patients after moderate COVID-19 compared to severe COVID-19.

Keywords: COVID-19, rehabilitation, kinesiotherapy

For reference: Minasov BSh, Zulkarneev RH, Minasov TB, et al. Combined active and passive kinesiotherapy in rehabilitation after COVID-19 of varying severity. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2024; 17 (4): 117-126. DOI: 10.20969/VSKM.2024.17(4).117-126.

Введение. После перенесенного заболевания COVID-19 у многих пациентов длительно сохраняются множественные функциональные нарушения, с основными проявлениями в виде одышки, слабости, утомляемости, снижения переносимости физической нагрузки, что приводит к существенному снижению качества их жизни [1-4]. Эффективность комплексной реабилитации после COVID-19, базовым методом которой является кинезиотерапия – лечение движением, убедительно доказана в ряде исследований [5-10]. Продолжается поиск наиболее эффективных и безопасных методов реабилитации после COVID-19. Развивается персонализированный подход к реабилитации после COVID-19 [8].

Вместе с тем остается недостаточно исследованной эффективность курсов реабилитации при различной тяжести течения ранее перенесенного COVID-19.

Цель исследования: оценить эффективность и безопасность комплекса реабилитации с применением комбинированной активно-пассивной кинезиотерапии после COVID-19 различной тяжести течения.

Материал и методы. Дизайн исследования: сравнительный, проспективный, наблюдательный, открытый, продольный. Исследование проведено в условиях реальной клинической практики на базе отделения реабилитации Клиники Башкирского государственного медицинского университета (БГМУ) с мая 2021 года по март 2022 года в рамках III этапа

медицинской реабилитации после COVID-19. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом БГМУ. У каждого пациента получено письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Пациентам проводилось клиническое обследование с оценкой жалоб, антропометрия с вычислением роста-веса показателя (Body Mass Index (BMI)), определялись базовые функциональные показатели – частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД), систолическое и диастолическое артериальное давление (АД), сатурация кислорода (SpO_2), термометрия тела ($t^{\circ}C$).

В качестве критериев включения пациентов в исследование использовались стандартные показания к реабилитации [11, 12], включающие предшествующую госпитализацию по поводу COVID-19 среднетяжелого или тяжелого течения, наличие реабилитационного потенциала, оценка по шкале реабилитационной маршрутизации (ШРМ) 2 и 3 балла. возраст 18-80 лет. К критериям исключения были отнесены: положительный тест на SARS-CoV-2 в момент начала курса реабилитации, нестабильное состояние пациента, повышенная температура тела $>37^{\circ}C$, ЧД >30 /мин., стойкая артериальная гипоксемия с $SpO_2 < 90\%$, кровохарканье, тахикардия с ЧСС >120 /мин., артериальная гипотензия с систолическим АД <90 мм рт.ст., декомпенсация функций других систем, злокачественные онкологические заболевания. Дополнительно в качестве критериев исключения были использованы противопоказания к проведению кинезиотерапии [13]: переломы позвонков и трубчатых костей до момента их сращения, вывихи межпозвонковых суставов, гипермобильность позвоночно-двигательных сегментов, выраженный генерализованный остеопороз.

Всего в исследование было включено 38 пациентов, которые ранее перенесли COVID-19 с лабораторным подтверждением с помощью ПЦР и/или КТ легких и клинических данных и необходимостью в госпитализации. Пациенты были разделены на две группы по тяжести ранее перенесенного COVID-19: среднетяжелого (С_COV19, $n=17$) и тяжелого (Т_COV19, $n=21$) течения. Реабилитационный потенциал оценивался по шкале реабилитационной маршрутизации (ШРМ) [12]. Пациенты проходили курс реабилитации в условиях стационара или дневного стационара в течение первых 2 мес. после выписки из инфекционного госпиталя. Реабилитация проводилась мультидисциплинарной бригадой в составе: лечащий врач-реабилитолог, врач-физиотерапевт, медсестра отделения физиотерапии, инструктор ЛФК.

В соответствии с рекомендациями для III этапа реабилитации [12] в качестве основного метода была использована кинезиотерапия. Применялась комбинация методик активной и пассивной кинезиотерапии. Активная кинезиотерапия проводилась в форме комплекса ЛФК с элементами дыхательной гимнастики. Сеансы ЛФК продолжительностью 20 мин. проводились 3 раза в неделю. Упражнения выполнялись 10-12 раз, в медленном темпе, и включали: 1) активные движения в шейном отделе

позвоночника в сочетании с дыхательными движениями; 2) активные движения верхних конечностей в сочетании с движениями в грудном и поясничном отделах позвоночника и дыхательными движениями; 3) активные движения нижних конечностей в сочетании с дыхательными движениями; 4) дыхательные упражнения: диафрагмальное дыхание, грудное дыхание, упражнение «жужжание» – вдох носом, выдох удлинённый через сомкнутые зубы, произнося букву «ж-ж-ж»; плавный вдох носом, на выдохе пропеть букву «а», «и», «о», «у», при этом сжатыми кулаками слегка стучать по грудной клетке, создавая легкую вибрацию.

Пассивная кинезиотерапия с элементами дыхательной гимнастики проводилась с применением физиотерапевтического комплекса «ОРМЕД» [13, 14]. В состав комплекса входили: механотерапевтический аппарат «ОРМЕД-Кинезо» (Регистрационное удостоверение на медицинское изделие №ФСР 2010/07241 от 29.03.2010) и «сухая» гидромассажная ванна «ОРМЕД-Акварелакс» (Регистрационное удостоверение на медицинское изделие №ФСР 2011/10259 от 05.03.2011). «ОРМЕД-Кинезо» (рис. 1) состоит из двух подвижных сегментов, соединенных шарнирным сочленением. Движения сегментов обеспечиваются электрическими сервоприводами под управлением микроконтроллера.

Механотерапия назначалась с целью реабилитационного воздействия на позвоночник и костный скелет, мышечно-связочный, нейрорецепторный аппарат грудной клетки, и, опосредованно – на легочную ткань [13, 14]. Перед процедурой механотерапии для дополнительного повышения ее эффективности проводился релаксирующий гидромассаж всего тела пациента с использованием «сухой» гидромассажной ванны «ОРМЕД-Акварелакс» в течение 10 мин. [15]. Затем пациенту проводилась процедура механотерапии длительностью 10 мин. В ходе нее с помощью механотерапевтического аппарата производились ритмичные, пассивные, сгибательно-разгибательные движения в грудном отделе позвоночника пациента в разных плоскостях, в зависимости от укладки пациента «на спине», «на боку», «на животе». При разгибании позвоночника пациент производил вдох, при сгибании – выдох. Частота двигательных циклов устанавливалась в комфортном для каждого пациента диапазоне 12 – 20 в минуту. Амплитуда движений устанавливалась в ходе процедуры индивидуально от минимального уровня по достижении у пациента ощущения «комфортного» растяжения и недопущения «стоп-сигналов».

Перед началом курса все пациенты были обучены «стоп-сигналам» для экстренного прерывания процедуры механотерапии в случае появления болей в грудной клетке, позвоночнике, усилении одышки, появления сильного приступообразного кашля, резкого увеличения отхождения мокроты, кровохарканья; внезапной сильной слабости, потливости, сердцебиения, помутнения сознания, головокружения, головной боли, озноба. Процедура проводилась под непосредственным наблюдением врача-реабилитолога, который проводил монито-



Рис.1. Механотерапевтический аппарат «ОРМЕД-Кинезо» [13, 14]
Fig 1. Mechanotherapeutic device "ORMED-Kinezo" [13,14]

ринг состояния пациента визуально и с помощью пульсоксиметрии.

Эффективность реабилитации определялась согласно методическим рекомендациям [12]. Обследование пациентов проводили дважды, в первый день курса и в заключительный день. Одышка оценивалась с помощью базового и транзитного индексов BDI-TDI [16]. Минимальным значимым изменением одышки считался 1 балл TDI [17]. Функция внешнего дыхания (ФВД) оценивалась методом спирографии прибором Vitalograph ALPHA (Vitalograph, Великобритания) в соответствии с рекомендациями Российского респираторного общества [17], с учетом дополнительных требований во время пандемии COVID-19 [18]. Определялись жизненная емкость легких (ЖЕЛ), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁), отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ. Для показателей спирографии рассчитывались индивидуальные должные нормальные величины по формулам Global Lung Function Initiative (GLI) с учетом возраста, роста и пола пациента, и вычислялись относительные должные величины (%должн) по формуле: %должн = измеренная величина / должная нормальная величина x 100%. Сатурация кислорода SpO₂ измерялась пульсоксиметром B.Well MED-320 (B.Well Swiss, Швейцария). Толерантность к физической нагрузке определялась с помощью 6-минутного теста ходьбы (6-MWT) по методике [20, 21]. Измерялись пройденная дистанция 6-MWT по абсолютной величине и в % от должной величины, рассчитанной индивидуально для каждого пациента [22]. Оценка интенсивности одышки при прохождении теста 6-MWT оценивалась по модифицированной шкале Borg [23].

Лекарственная терапия продолжалась в соответствии с индивидуальными рекомендациями, данными пациенту при выписке из инфекционного госпиталя.

Статистическая обработка данных проводилась методами непараметрической статистики с применением критериев Вилкоксона-Манна-Уитни для независимых выборок и Вилкоксона для связанных выборок с оценкой прироста Ходжеса-Лемана. Величины представлены в виде «медиана (I квартиль; III квартиль)», их прирост – в виде «знак прироста, медиана [95% доверительный интервал]». Для сравнения долей применялся критерий «хи-квадрат». Корреляционный анализ проводился с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Достоверными считались различия с $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение.

Характеристика групп пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию средней тяжести С_COV19 и тяжелого течения Т_COV19 представлена в *таблице 1*.

Исходно группы С_COV19 и Т_COV19 не отличались по большинству демографических, антропометрических, функциональных, клинических показателей и фоновой заболеваемости, за исключением несколько большей частоты сердечных сокращений во второй группе. Также в группе Т_COV19 была больше доля пациентов с оценкой 3 балла по шкале ШРМ.

Исходно пациенты обеих групп, согласно величинам индекса BDI (табл.1), в одинаковой степени страдали от умеренной одышки. К моменту окончания курса реабилитации все пациенты отметили сопоставимое между группами умеренное уменьше-

Характеристика групп пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию средней тяжести С_COV19 и тяжелого течения Т_COV19

Table 1

Characteristics of the groups of patients after moderate and severe COVID-19

	C_COV19, n=17	T_COV19, n=21	p
Пол, мужской / женский	7 / 10	5 / 16	0,150
Возраст, лет	62 (56; 69)	63 (54; 68)	0,814
Росто-весовой показатель BMI, кг/ м ²	27,3 (25,1; 31)	29 (23,7; 33,2)	0,804
Частота дыхания, /мин	20 (16; 21)	20 (17; 22)	0,712
Индекс одышки BDI	9 (6; 9)	8 (6; 9)	0,891
Сатурация SpO ₂ , %	97 (96; 98)	97 (97; 98)	0,936
Частота сердечных сокращений, /мин	70,5 (66,0; 84,0)	82,0 (76,7; 92,3)	0,018
Систолическое АД, мм рт.ст.	132,5 (118; 145)	120 (105; 130,7)	0,106
Диастолическое АД	80 (71; 90)	76 (70; 85)	0,267
t тела, °C	36,7 (36,5; 36,8)	36,8 (36,7; 36,9)	0,081
Фоновые заболевания:	15	17	0,541
-сердечно-сосудистые	8	10	0,727
-эндокринные	6	7	0,820
-респираторные	3	2	0,462
-желудочно-кишечный тракт	1	4	0,233
≥ 2 заболеваний	5	8	0,575
Оценка по ШРМ:			
2 балла	17	16	0,031
3 балла	0	5	0,031

ние одышки. В группе С_COV19 TDI имел величину 6 (3,7; 6,3), в группе Т_COV19 - 4 (3,7; 6), p=0,53.

Исходно в обеих группах пациентов основные показатели спирографии были существенно снижены, в наибольшей степени – в группе Т_COV19 (Табл.2). Нарушения имели преимущественно рестриктивный характер с ЖЕЛ<80%должн. и были отмечены у 12 из 17 (70,5%) пациентов группы С_COV19 и 20 из 21 (95,3%) пациентов группы Т_COV19, p=0,039. После прохождения курса реабилитации эти доли снизились до 5 из 17 (29,4%) и 17 из 21 (81,0%), соответственно, p=0,002.

По окончании курса реабилитации уменьшение рестриктивных нарушений проявилось в приросте ЖЕЛ в обеих группах. В группе С_COV19 ЖЕЛ увеличилась на +6,5[3; 10,5]% должн., p=0,001, в группе Т_COV19 – на +7,0 [3,0; 14,0]% должн., p=0,001. Прирост ЖЕЛ не отличался по величине, p=0,88. В группе Т_COV19 другие показатели спирограммы достоверно не изменились. В то же время в группе С_COV19 наблюдался значимый прирост ФЖЕЛ на +5,5[2,0; 10,5]%должн., p=0,002 и ОФВ₁ - +10,0[3,5; 23,0]%должн., p=0,003. Отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ не отличалось между группами – 0,78(0,39;0,83) и 0,68(0,45; 0,82), p=0,80, и в динамике не изменилось.

Исходно у пациентов наблюдалось заметное снижение физической работоспособности, оцененное по дистанции 6-MWT относительно должных величин: в группе С_COV19 – 78,5(68,9; 84,3)% должн., в группе Т_COV19 – 63,3(55,9; 71,9)% должн., p=0,001. В ходе курса реабилитации абсолютные ве-

личины дистанции достоверно увеличились 6-MWT в группе С_COV19 с 364(332; 431)м до 400(351; 495) м, в группе Т_COV19 – с 322(238; 347)м до 356(322; 381) м (Рис.2). Медианы прироста 6-MWT в обеих группах не отличались и составили в первой группе – +43 [26; 74]м, во второй группе – +37 [21; 59]м.

Корреляционный анализ не выявил существенной взаимосвязи прироста показателей одышки, функции внешнего дыхания и дистанции 6-MWT в объединенной группе больных (Табл.3). Положительная корреляция закономерно наблюдалась только между показателями ФВД – ЖЕЛ, ФЖЕЛ и ОФВ₁.

В ходе курса реабилитации не отмечено осложнений, побочных явлений и обострения сопутствующих заболеваний, потребовавших прекращения курса и проведения дополнительных медицинских вмешательств.

Клинический пример.

Мужчина, 47 лет, BMI 34,3 кг/м², не курит, профессиональными вредностями не имеет, хроническими заболеваниями дыхательной и сердечно-сосудистой систем ранее не страдал. Перенес COVID-19 тяжелого течения, по данным КТ во время госпитализации двухстороннее вирусное поражение легочной ткани 95%, острая дыхательная недостаточность III со снижением SpO₂ до 82%. Проходил лечение в ОРИТ в течение 17 суток, продолжительность НИВЛ – 14 суток, выписан на 35 сутки. Был принят на курс реабилитации через 2,5 мес. после выписки из стационара. Сохраняются выраженные нарушения структуры легких по КТ (Рис.3).

Изменения показателей спирографии до и после курса реабилитации в группах пациентов после COVID-19 средней тяжести и тяжелого течения

Changes in the spirometry parameters before and after the rehabilitation course in the groups of patients after moderate and severe COVID-19

		C_COV19	T_COV19	p
ЖЕЛ, л	До	2,75 (2,43; 3,71)	1,94 (1,62; 2,23)	<0,001
	После	3,23 (2,47; 3,80)	2,23 (1,98; 2,45)	0,001
	Δ pΔ	0,21 [0,095; 0,34] 0,003	0,30 [0,12; 0,52] 0,001	0,547
ЖЕЛ, %должн.	До	72,0 (67,3; 82,3)	59,0 (47,0; 68,7)	<0,001
	После	84,0 (73,7; 87,3)	66,0 (60,0; 73,0)	<0,001
	Δ pΔ	6,5 [3; 10,5] 0,001	7,0 [3,0; 14,0] 0,001	0,883
ФЖЕЛ, л	До	2,63 (2,44; 4,01)	2,17 (1,90; 2,49)	0,006
	После	2,93 (2,59; 4,08)	2,43 (1,87; 3,04)	0,009
	Δ pΔ	0,16 [0,03; 0,29] 0,015	0,15 [-0,08; 0,35] 0,19	0,918
ФЖЕЛ, %должн.	До	80,0 (67,3; 86,7)	67,0 (59,7; 77,0)	0,042
	После	88,0 (77,0; 94,0)	71,0 (53,7; 87,0)	0,012
	Δ pΔ	5,5 [2,0; 10,5] 0,002	4,5 [-2,0; 10,5] 0,143	0,659
ОФВ ₁ , л/с	До	2,28 (0,98; 3,18)	1,48 (0,80; 1,65)	0,017
	После	2,45 (1,95; 3,22)	1,66 (0,96; 1,98)	0,001
	Δ pΔ	0,25 [0,06; 0,57] 0,005	0,14 [-0,02; 0,35] 0,197	0,419
ОФВ ₁ , %должн.	До	80,0 (39,3; 91,0)	52,0 (31,3; 72,3)	0,032
	После	91,0 (76,0; 96,3)	56,0 (40,0; 72,3)	0,002
	Δ pΔ	10,0 [3,5; 23,0] 0,003	5,0 [-1,0; 11,5] 0,13	0,290
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ	До	0,78 (0,39; 0,83)	0,68 (0,45; 0,82)	0,803
	После	0,80 (0,61; 0,84)	0,68 (0,51; 0,79)	0,264
	Δ pΔ	0,04 [-0,02; 0,10] 0,144	0,01 [-0,04; 0,06] 0,701	0,471

Примечание: ЖЕЛ – жизненная емкость легких, ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких, ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за первую секунду, %должн. – отношение измеренной и рассчитанной должной величины в %, «р» – уровень значимости различий между группами, «Δ» – величина прироста в группе, «pΔ» – уровень значимости прироста.

Note: VC – vital capacity of the lungs, FVC – forced vital capacity of the lungs, FEV₁ – forced expiratory volume in the first second, %predicted – the percentage ratio of the measured value and predicted normal value, «р» – the level of significance of the differences between groups, «Δ» – the amount of increase in the group, «pΔ» – the level of significance of the change of the values in the group.

Исходный индекс одышки BDI – 9. В процессе курса реабилитации с МТ существенно уменьшилась одышка, индекс TDI +6. Улучшились показатели ФВД – ЖЕЛ с 2,38 л до 2,53 л, 46% до 49% должн., ФЖЕЛ с 1,98 л до 2,52 л, 48% до 59% должн., ОФВ₁ с 1,64 до 2,05 л, 42% до 51% должн. SpO₂ при дыхании атмосферным воздухом в покое увеличилась с 89% до 93%. Дистанция 6MWT увеличилась от исходных 218 м до 315 м, с 35% до 51% должн., соответственно. Во время теста одышка уменьшилась с 5 до 3 баллов Borg, снижение SpO₂ исходно – 3%, в конце курса – 1%. Пациент отметил существенное улучшение эмоционального фона и общего самочувствия.

Обсуждение. Первым очевидным эффектом предлагаемого курса реабилитации после COVID-19 с применением активно-пассивной кинезиотерапии было сопоставимое уменьшение одышки в обеих группах C_COV19 и T_COV19. Купирование одышки

является необходимым фактором восстановления качества жизни после COVID-19 [2, 5, 7].

Другим важным эффектом курса реабилитации было улучшение показателей функции внешнего дыхания. По данным [1-4] в постковидный период наиболее часто наблюдаются рестриктивные нарушения ФВД – у 27-42 % пациентов, существенно реже – обструктивные нарушения, в 1-3% случаев. В данном исследовании рестриктивные нарушения отмечены у большинства обследуемых – 70,5% пациентов группы C_COV19 и 95,3% пациентов группы T_COV19. После прохождения курса реабилитации в группе C_COV19 доля пациентов с рестриктивными изменениями снизилась в наибольшей степени на 41,1% до 29,4%, в группе T_COV19 нормализация рестриктивных изменений наблюдалась существенно реже – снижение доли пациентов на 14,3% до 81,0%, соответственно.

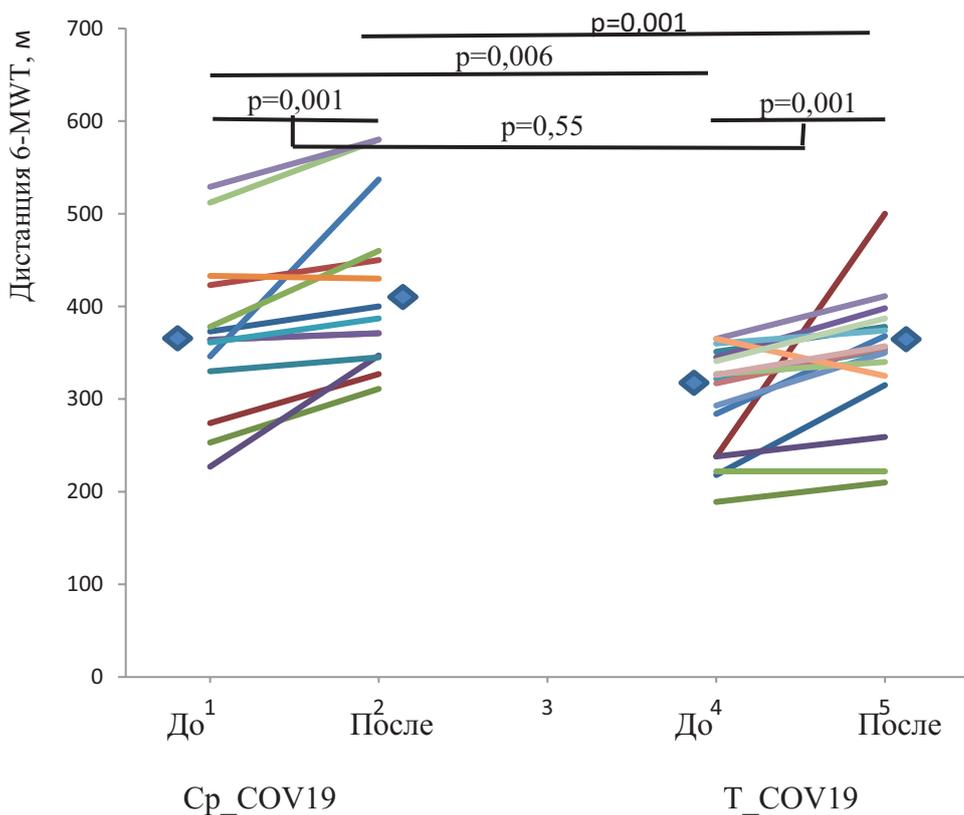


Рис.2. Дистанция 6-минутного теста ходьбы (6-MWT) до и после реабилитации в группах пациентов после COVID-19 средней тяжести и тяжелого течения

Примечание: «◆» – медиана

Fig.2. 6-Minute Walk Test (6-MWT) distance before and after rehabilitation in groups of patients after moderate and severe COVID-19

Note: «◆» – median

Таблица 3

Корреляционная матрица между величинами прироста оценок одышки, показателей спирографии и дистанции 6-мин. теста ходьбы в ходе реабилитации в объединенной группе больных, перенесших COVID-19

Table 3

Correlation matrix between shortness of breath, spirometry values and 6-minute walking test distance changes during the rehabilitation course in a joint group of post-COVID-19-patients

	TDI	ΔЖЕЛ	ΔФЖЕЛ	ΔОФВ ₁
TDI	1			
ΔЖЕЛ	-0,23	1		
ΔФЖЕЛ	-0,05	0,34	1	
ΔОФВ ₁	-0,08	0,39	0,62	1
Δ6-MWT	-0,03	-0,06	0,02	0,02

Примечание: TDI – транзитный индекс одышки (Transition Dyspnea Index), ЖЕЛ – жизненная емкость легких, ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких, ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за первую секунду, 6-MWT – дистанция 6-минутного теста ходьбы (6-Minute Walk Test).

Note: TDI – Transition Dyspnea Index, VC – vital capacity of the lungs, FVC – forced vital capacity of the lungs, FEV₁ – forced expiratory volume in the first second, 6-MWT – 6-Minute Walk Test distance

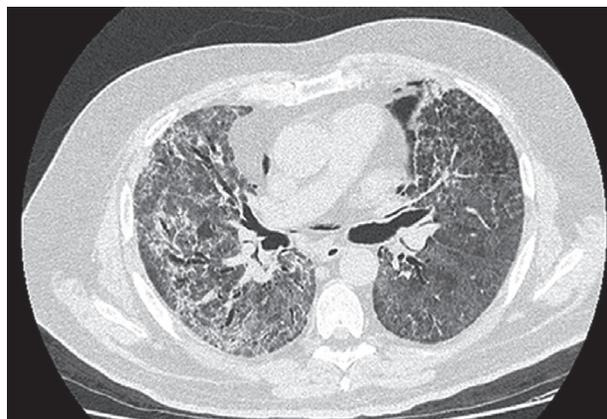


Рис.3. Компьютерная томограмма легких больного М. перед началом курса реабилитации после COVID-19 тяжелого течения.

Fig.3. Computed tomography scan of patient M.'s lungs after severe COVID-19 at the start of the rehabilitation course.

В ходе курса реабилитации достоверный прирост ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ₁ продемонстрировали пациенты из группы С_COV19. В группе Т_COV19 достоверно увеличилась только величина ЖЕЛ. Относительно небольшие величины прироста показателей ФВД, в интервале 3,5-7 % должн. для разных показателей, вероятно, объясняются длительным, до 6 мес. и более, восстановлением рестриктивных нарушений в легких после COVID-19 [3]. В целом следует отметить более выраженный эффект курса реабилитации на ФВД в группе С_COV19 по сравнению с группой Т_COV19.

Интегральный эффект курса реабилитации проявился в значимом увеличении переносимости физической нагрузки. Прирост пройденной дистанции 6MWT +43 [26; 74]м в группе С_COV19 и +37[21; 59]м в группе Т_COV19 сопоставимы с данными исследования [9], где в процессе реабилитации медиана прироста дистанции 6MWT составила +40 м. Аналогичные результаты были получены также в исследовании [6], в котором в ходе 3-недельного курса реабилитации было отмечено увеличение дистанции 6MWT на +48 м для легкого и средне-тяжелого течения и +124 м для тяжелого и крайне тяжелого течения ранее перенесенного COVID-19. В другом исследовании [8] при прохождении курса реабилитации после COVID-19 прирост дистанции 6MWT был более значительным и составил 89-120 м.

Особенностью данного исследования является применение комбинированной активно-пассивной кинезиотерапии. Реабилитационные эффекты кинезиотерапии при COVID-19 требуют дальнейшего изучения. Известно, что после перенесенного COVID-19 в легких продолжают процессы неспецифического воспаления, микрососудистые нарушения, начальные стадии активации фиброгенеза. [24]. Это приводит к потере гомогенности легочной ткани за счет формирования многочисленных фокусов инфильтрации, микроателектазов и локального фиброза. Вследствие потери гомогенности легочной ткани восстановление эластических свойств легочной ткани и расправление микроателектазов существенно усложняется. Как было показано в

70-х годах прошлого века с помощью остроумной физической модели альвеолярной структуры легких [25], попытка расправить спавшиеся участки неомогенного легкого с помощью нагнетания воздуха в альвеолы под повышенным давлением может привести к баротравме и даже разрыву альвеол, соседствующих с уплотненным участком легкого (Рис. 4). В настоящее время факт дополнительного повреждения и усиления воспаления неомогенной легочной ткани при попытке раздувания легких избыточным давлением подтвержден клинически [26].

Наиболее эффективным и безопасным способом расправления неомогенной легочной ткани после COVID-19 представляется ее естественное растяжение за счет физиологического увеличения общего объема грудной клетки и изменения профиля ее отдельных сегментов. Приведенные изменения и происходят при проведении активной и пассивной кинезиотерапии. Следует отметить, что активная и пассивная методики кинезиотерапии имеют несколько отличные механизмы воздействия на дыхательную систему. При активной кинезиотерапии происходит физиологическое расправление грудной клетки и легких вследствие активного функционирования дыхательной и скелетной мускулатуры, что оказывает на мышечно-связочную систему тренирующий эффект. Однако, интенсивность и продолжительность активной кинезиотерапии ограничивается сниженной переносимостью физической нагрузки у больных, перенесших ранее COVID-19, а также наличием мышечно-фасциальных блоков вследствие достаточно длительной гиподинамии во время госпитализации. В то же время при проведении пассивной кинезиотерапии движения грудной клетки происходят за счет внешней силы механотерапевтического устройства и не имеют описанных выше ограничений. Таким образом, активная и пассивная кинезиотерапия органично дополняют друг друга с точки зрения реабилитационного эффекта. В частности, механотерапевтическое воздействие представляется весьма перспективным с точки зрения клеточно-тканевой реабилитации [27, 28]. К дополнительным положительным факторам предлагаемой

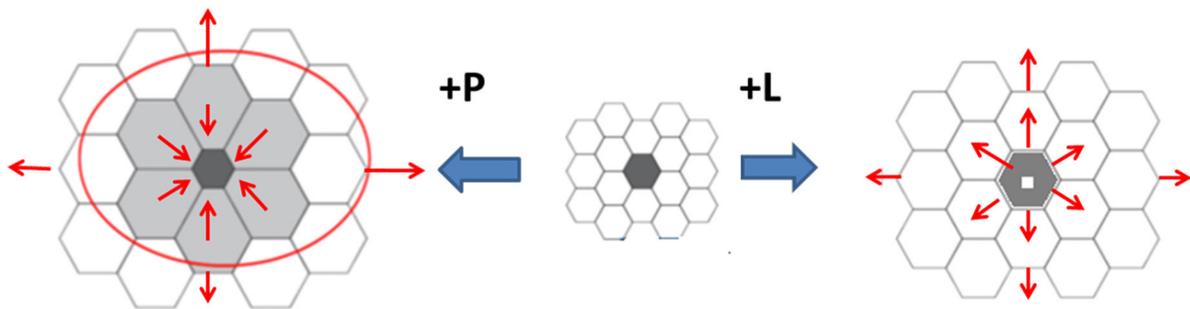


Рис.4. Распределение сил растяжения в неомогенной легочной ткани (ателектазированная альвеола обозначена черным цветом) при раздувании воздухом под повышенным давлением (+P) и при внешнем растяжении (+L).

Fig. 4. Distribution of tensile forces in inhomogeneous lung tissue (the atelectatic alveolus is indicated in black) during inflation with air under high pressure (+P) and during external stretching (+L).

The area of damage to the alveoli is highlighted with a circle and gray color.

комбинированной кинезиотерапии можно отнести стимуляцию выработки сурфактанта вследствие дозированного растяжения легочной ткани. [29].

Выводы. Предлагаемая методика реабилитации после COVID-19 с применением комбинированной активно-пассивной кинезиотерапии обладает сопоставимой эффективностью и безопасностью у пациентов, перенесших COVID-19 в среднетяжелой и тяжелой форме. Она способствует уменьшению одышки и повышению физической работоспособности. В отношении функции внешнего дыхания реабилитационный эффект методики наиболее выражен у пациентов, перенесших COVID-19 средней тяжести по сравнению с пациентами, перенесшими COVID-19 тяжелого течения.

Прозрачность исследования. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях. Все авторы принимали участие в разработке концепции и дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В., [и др.] Динамика функционального состояния системы дыхания через 4 месяца после перенесенного COVID-19 // Пульмонология. – 2021. – Т.31, №5. – С. 580–587. [Savushkina OI, Chernjak AV, Krjukov EV et al. Dinamika funkcional'nogo sostojanija sistemy dyhanija cherez 4 mesjaca posle perenesennogo COVID-19 [Dynamics of the functional state of the respiratory system 4 months after COVID-19]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2021; 31(5): 580-587. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2021-31-5-580-587
2. Strumiliene E, Zeleckiene I, Bliudzius R, et al. Follow-up analysis of pulmonary function, exercise capacity, radiological changes, and quality of life two months after recovery from SARS-CoV-2 pneumonia. Medicina. 2021; 57: 568. DOI: 10.3390/medicina57060568
3. Черняк А.В., Мустафина М.Х., Калманова Е.Н., Зыков К.А. Исследование функции внешнего дыхания у пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию SARS-CoV-2, в отдаленный период выздоровления // Практическая пульмонология. – 2023. – №2. – С.33–40 [Chernjak AV, Mustafina MH, Kalmanova EN, Zykov KA. Issledovanie funkicii vneshnego dyhanija u pacientov, perenessih novuju koronavirusnuju infekciju SARS-CoV-2, v otdalennyj period vyzdorovlenija [Study of external respiratory function in patients who have suffered a new coronavirus infection SARS-CoV-2 during the long-term period of recovery]. Prakticheskaja pul'monologija [Practical Pulmonology]. 2023; 2: 33-40. (In Russ.)]. DOI: 10.24412/2409 6636 2023 12876
4. Beurnier A, Savale L, Jaïs X, et al. Functional respiratory complaints among COVID-19 survivors: a prospective cohort study. ERJ Open Res. 2023; 2, 9(3): 00063-2023. DOI:10.1183/23120541.00063-2023
5. Каменская О.В., Логинова И.Ю., Клиноква А.С., [и др.] Оценка эффективности медицинской реабилитации пациентов, перенесших COVID-19, на основе изучения функциональных возможностей сердечно-сосудистой и дыхательной систем // Пульмонология. – 2021. – Т.31, №6. – С.710-717. [Kamenskaja OV, Loginova IJ., Klinkova AS et al. Ocenka jeffektivnosti medicinskoj reabilitacii pacientov, perenessih COVID-19, na osnove izuchenija funkcional'nyh vozmozhnostej serdechno-sosudistoj i dyhatel'noj system [Assessing the effectiveness of medical rehabilitation of patients who have suffered COVID-19 based on studying the functional capabilities of the cardiovascular and respiratory systems]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2021; 31 (6): 710-717. (In Russ.)]. DOI:10.18093/0869-0189-2021-31-6-710-717
6. Gloeck R, Leiti D, Jarosch I, et al. Benefits of pulmonary rehabilitation in COVID-19: a prospective observational cohort study. ERJ Open Research. 2021; 7 (2): 00108-2021. DOI: 10.1183/23120541.00108-2021
7. Hayden MC, Limbach M, Schuler M, et al. Effectiveness of a Three-Week Inpatient Pulmonary Rehabilitation Program for Patients after COVID-19: A Prospective Observational Study. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021; 18: 9001. DOI:10.3390/ijerph18179001
8. Хамитов Р.Ф., Соболева Е.А. Персонализированная реабилитация пациентов после новой коронавирусной инфекции: опыт Республики Марий Эл // Пульмонология. – 2022. – Т.32, №5. – С.696-703. [Hamitov RF, Soboleva EA. Personificirovannaja reabilitacija pacientov posle novej koronavirusnoj infekcii: opyt Respubliki Marij Jel [Personalized rehabilitation of patients after a new coronavirus infection: experience of the Republic of Mari El]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2022; 32 (5): 696-703. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-5-696-703
9. Чикина С.Ю., Кулешов А.В., Никитина Н.В., Мещерякова Н.Н. Влияние физической реабилитации в постковидном периоде на переносимость физической нагрузки: результаты открытого контролируемого исследования // Пульмонология. – 2022. – Т.32, №5. – С.728-736. [Chikina SJu, Kuleshov AV, Nikitina NV, Meshherjakova NN. Vlijanie fizicheskoj reabilitacii v postkovidnom periode na perenosimost' fizicheskoj nagruzki: rezul'taty otkrytogo kontroliruемого issledovanija [The impact of physical rehabilitation in the post-Covid period on exercise tolerance: results of an open controlled study]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2022; 32(5): 728-736. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-5-728-736
10. Chen H, Shi H, Liu X, et al. Effect of pulmonary rehabilitation for patients with post-COVID-19: a systematic review and meta-analysis. Front Med (Lausanne). 2022 Feb 21; 9: 837420. DOI:10.3389/fmed.2022.837420
11. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика, лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 12. 21.09.2021. – Москва, 2021. – 231 с. [Vremennye metodicheskie rekomendacii: Profilaktika, diagnostika, lechenie novej koronavirusnoj infekcii (COVID-19); Versija 12, 21/09/2021 [Ministerstvo zdravooxranenija Rossijskoj Federacii [Ministry of Health of the Russian Federation]. Temporary guidelines; Prevention, diagnosis, treatment of new coronavirus infection (COVID-19): Version 12, 09/21/2021]. Moskva [Moscow]. 2021; 231 p. (In Russ.)]. URL: <https://nasci.ru/?id=50819>
12. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации; Реабилитация при новой коронавирусной инфекции (COVID-19); Версия 2, 31/07/2020. – Москва, 2020. – 150 с. [Ministerstvo zdravooxranenija Rossijskoj Federacii [Ministry of Health of the Russian Federation]. Vremennye metodicheskie rekomendacii; Reabilitacija pri novej koronavirusnoj infekcii (COVID-19); Versija 2, 31/07/2020 [Temporary guidelines; Rehabilitation for new coronavirus infection (COVID-19); Version 2, 07/31/2020]. Moskva

- [Moscow]. 2020; 150 p. (In Russ.). URL: <https://tfomssk.ru/documents/detail.php?ID=5792>
13. Минасов Б.Ш., Минасов Т.Б., Зулкарнеев Р.Х., [и др.]. Медицинская реабилитация пациентов после вирусной пневмонии (COVID-19) посредством механотерапии. - Уфа: Белая река, 2021. - 128 с. [Minasov BSh, Minasov TB, Zulkarneev RH, et al. Medicinskaja reabilitacija pacientov posle virusnoj pnevmonii (COVID-19) posredstvom mehanoterapii [Medical rehabilitation of patients after viral pneumonia (COVID-19) using mechanotherapy]. Ufa: Belaja reka [Ufa: Belaja reka]. 2021; 128 p. (In Russ.)].
 14. Гиниятуллин Н. И., Гильманшина И. Р., Сулейманова В. А. Механотерапия: состояние и тенденции развития // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. – №5. – С.164-169. [Giniyatullin NI, Gilmanshina IR, Suleimanova VA. Mehanoterapija: sostojanie i tendencii razvitija [Mechanotherapy: the current state and tendency for development]. Medicinskij vestnik Bashkortostana [Medical Bulletin of Bashkortostan]. 2014; 5: 164-169. (in Russ.)].
 15. Hajibashi A, Sarrafzadeh J, Amiri A et al. Effect of progressive muscle relaxation as an add-on to pulmonary telerehabilitation in discharged patients with COVID-19: A randomised controlled trial. *Complement Ther Clin Pract.* 2023 May; 51: 101730. DOI: 10.1016/j.ctcp.2023.101730
 16. Mahler DA, Weinberg DH, Wells CK, Feinstein AR. The measurement of dyspnea. Contents, interobserver agreement, and physiologic correlates of two new clinical indexes. *Chest.* 1984; 85: 751-758. DOI: 10.1378/chest.85.6.751
 17. Mahler DA. Minimal important difference of the transition dyspnea index in a multinational clinical trial. *Eur Respir J.* 2003; 21 (2): 267–272. DOI: 10.1183/09031936.03.00068503a
 18. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю., [и др.]. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии // Пульмонология. – 2014. – №6. – С.11-23. [Chuchalin AG, Ajsanov ZR, Chikina SJu et al. Federal'nye klinicheskie rekomendacii Rossijskogo respiratornogo obshhestva po ispol'zovaniju metoda spirometrii [Federal clinical guidelines of the Russian Respiratory Society on the use of spirometry]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2014; 6: 11-23. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24
 19. Айсанов З.Р., Калманова Е.Н., Каменева М.Ю. [и др.]. Рекомендации Российского респираторного общества по проведению функциональных исследований системы дыхания в период пандемии COVID-19. Версия 1.1 от 19.05.2020 // Практическая пульмонология. – 2020. – №1. – С. 104-106. [Ajsanov ZR, Kalmanova EN, Kamenewa MJu, et al. Rekomendacii Rossijskogo respiratornogo obshhestva po provedeniju funkcional'nyh issledovanij sistemy dyhaniya v period pandemii COVID-19; Versija 1:1 ot 19/05/2020 [Russian Respiratory Society Guidelines for pulmonary function testing during the COVID-19 pandemic; Version 1:1, 05/19/2020]. Prakticheskaja pul'monologija [Practical pulmonology]. 2020; 1: 104-106. (In Russ.)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-rossijskogo-respiratornogo-obschestva-po-provedeniyu-funktionalnyh-issledovanij-sistemy-dyaniya-v-period-pandemii/viewer>
 20. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 1, 166 (1): 111-117. DOI: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102
 21. Чикина С.Ю. Роль теста с 6-минутной ходьбой в ведении больных с бронхолегочными заболеваниями // Практическая пульмонология. – 2015. – № 4. – С.34-38. [Chikina SJu. Rol' testa s 6-minutnoj hod'boj v vedenii bol'nyh s bronholegochnymi zabolevanijami [The role of the 6-minute walk test in the management of patients with bronchopulmonary diseases]. Prakticheskaja pul'monologija [Practical pulmonology]. 2015; 4: 34-38. (In Russ.)] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-testa-s-6-minutnoy-hodboj-v-vedenii-bolnyh-s-bronholegochnymi-zabolevanijami/viewer>
 22. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998; 158: 1384-1387. DOI:10.1164/ajrccm.158.5.9710086
 23. Borg G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health.* 1990; 16 Suppl 1: 55-58. DOI: 10.5271/sjweh.1815
 24. Самсонова М.В., Конторщиков А.С., Черняев А.Л., [и др.]. Патогистологические изменения в легких в отдаленные сроки после COVID-19 // Пульмонология. – 2021. – Т.31, № 5. – С.571–579. [Samsonova MV, Kontorshhikov AS, Chernjaev AL, et al. Patogistologicheskie izmenenija v legkih v otdalennye sroki posle COVID-19 [Pathohistological changes in the lungs in the long term after COVID-19]. Pul'monologija [Pulmonology]. 2021; 31 (5): 571-579. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2021-31-5-571-579
 25. Mead J, Takishima T, Leith D. Stress distribution in lungs: a model of pulmonary elasticity. *J Appl Physiol.* 1970; 28 (5): 596-608. DOI: 10.1152/jappl.1970.28.5.596
 26. Retamal J, Bergamini BC, Carvalho AR et al. Non-lobar atelectasis generates inflammation and structural alveolar injury in the surrounding healthy tissue during mechanical ventilation. *Crit Care.* 2014;18: 505. DOI:10.1186/s13054-014-0505-1
 27. Huang C, Holfeld J, Schaden W, et al. Mechanotherapy: revisiting physical therapy and recruiting mechanobiology for a new era in medicine. *Trends in Molecular Medicine.* 2013; 19 (9): 555– 564. DOI: 10.1016/j.molmed.2013.05.005
 28. Seo BR, Mooney DJ. Recent and future strategies of mechanotherapy for tissue regenerative rehabilitation. *ACS Biomaterials Science & Engineering.* 2022; 8 (11): 4639-4642. DOI: 10.1021/acsbmaterials.1c01477
 29. Majumdar A, Arold SP, Bartolák-Suki E, et al. Jamming dynamics of stretch-induced surfactant release by alveolar type II cells. *J Appl Physiol* (1985). 2012; 112 (5): 824-831. DOI: 10.1152/japplphysiol.00975.2010