

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНАЦИИ В КОМПЛЕКСНУЮ ТЕРАПИЮ ПАЦИЕНТОВ С COVID-19: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

С. С. Петриков[✉], А. К. Евсеев^{✉*}, О. А. Левина[✉], А. К. Шабанов[✉], И. В. Горончаровская[✉],
Н. А. Потапова[✉], Д. С. Слободенюк[✉], А. А. Гринь[✉]

Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н. В. Склифосовского
Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Пандемия новой коронавирусной инфекции, вызываемой вирусом SARS-CoV-2 (COVID-19), заставила медиков пересмотреть традиционные подходы к лечению пациентов с вирусной пневмонией и острым респираторным дистресс-синдромом, когда методы нормобарической оксигенации оказались малоэффективными. Выходом из данной ситуации стало включение в комплексную терапию пациентов с COVID-19 гипербарической оксигенации, как признанного средства ликвидации любых форм кислородной задолженности за счет более эффективной доставки кислорода к органам и тканям.

ЦЕЛЬ: Оценить эффективность применения гипербарической оксигенации в комплексной терапии пациентов с новой коронавирусной инфекцией с выраженным поражением легких (более 50%).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Были обследованы 75 пациентов с диагнозом «Коронавирусная инфекция, вызванная вирусом SARS-CoV-2» (64 — больные с КТ-3, 11 — больные с КТ-4), 50 из которых был назначен курс гипербарической оксигенации (ГБО). Процедуры осуществляли в реанимационной барокамере Sechrist 2800 (США) при режиме 1,4–1,6 АТА в течение не более 60 мин. До и после каждого сеанса ГБО оценивали субъективные показатели состояния пациентов и измеряли насыщение крови кислородом. Кроме того, оценивали динамику уровня лейкоцитов, тромбоцитов, аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ) и С-реактивного белка. С целью анализа кислородной поддержки фиксировали тип (низкопоточная оксигенотерапия, высокопоточная оксигенотерапия) и суточный расход кислорода.

Статистика. Статистический анализ данных проводили с помощью пакета программ Statistica 10 (StatSoft, Inc., США). Описательную статистику количественных признаков представили в виде Me (Q25; Q75). Сопоставление исследуемых групп проводили с использованием U-критерия Манна–Уитни и критерия Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при значениях $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Включение гипербарической оксигенации в комплексную терапию пациентов с новой коронавирусной инфекцией приводило к достоверному увеличению уровня SpO₂ к 7-м суткам в исследуемой группе до 92% (89; 94) против 88% (87; 92) в контрольной группе ($p=0,011$), а к 14-м до 96% (95; 97) против 95% (90; 96) ($p < 0,001$). Данное обстоятельство привело к существенному снижению количества пациентов, требующих дополнительной кислородной поддержки: к 7-м суткам оно составляло 94% в исследуемой и 100% — в контрольной группе, а к 14-м — 16% в исследуемой и 44% в контрольной группе. В частности, количество пациентов, требующих высокопоточной оксигенотерапии, в исследуемой группе снизилось с 34% на 5-е сутки до 2% на 14-е сутки, в то время как в контрольной группе за этот же период отмечено снижение с 60% до 32%. При анализе объемного потребления кислорода в исследуемой группе, даже с учетом расхода на гипербарическую оксигенацию, зафиксировано снижение среднего суточного расхода кислорода с 13,9 л/мин на 5-е сутки до 9,3 л/мин на 14-е сутки, тогда как в контрольной группе за тот же период этот показатель снизился с 17,2 до 14,5 л/мин. Сроки нахождения пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии в исследуемой группе составили 10 (8; 12) койко-дней против 13 (11; 23) койко-дней ($p=0,002$) в контрольной группе, а общий срок госпитализации — 16 (13,3; 20) койко-дней против 21 (19; 29) койко-дней ($p < 0,001$) в исследуемой и контрольной группе, соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ: Раннее включение гипербарической оксигенации в комплексную терапию пациентов с новой коронавирусной инфекцией приводило к достоверному увеличению уровня SpO₂ уже начиная с 7-х суток. Данное обстоятельство привело к существенному снижению в исследуемой группе по сравнению контрольной количества пациентов, требующих дополнительной кислородной поддержки. Это, в свою очередь, повлияло на сокращение объемного потребления кислорода в исследуемой группе, даже с учетом расхода на гипербарическую оксигенацию. Помимо этого, в исследуемой группе чаще фиксировали положительную динамику по данным КТ, более быстрое снижение уровня С-реактивного белка. Все эти наблюдения свидетельствуют о более быстрой нормализации состояния организма за счет ликвидации гипоксии, снижения воспалительного ответа и восстановления функции легких у пациентов, прошедших курс гипербарической оксигенации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Включение гипербарической оксигенации в комплексную терапию пациентов с новой коронавирусной инфекцией с выраженным поражением легких (более 50%) позволяет за короткий срок стабилизировать состояние за счет более интенсивного снижения степени поражения легких по данным КТ, раннего отказа от дополнительной кислородной поддержки, улучшения психоэмоционального состояния, что в целом приводит к сокращению сроков нахождения пациентов как в ОРИТ, так и в госпитальном отделении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, гипербарическая оксигенация, респираторная поддержка, новая коронавирусная инфекция, COVID-19, гипоксия

*Для корреспонденции: Евсеев Анатолий Константинович, e-mail: EvseevAK@sklif.mos.ru

*For correspondence: Anatoly K. Evseev, e-mail: EvseevAK@sklif.mos.ru

Для цитирования: Петриков С.С., Евсеев А.К., Левина О.А., Шабанов А.К., Горончаровская И.В., Потапова Н.А., Слободенюк Д.С., Гринь А.А. Эффективность включения гипербарической оксигенации в комплексную терапию пациентов с COVID-19: ретроспективное исследование // *Морская медицина*. 2022. Т. 8, № 3. С. 48–61, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-48-61>.

For citation: Petrikov S.S., Evseev A.K., Levina O.A., Shabanov A.K., Goroncharovskaya I.V., Potapova N.A., Slobodeniuk D.S., Grin A.A. The effectiveness of the inclusion of hyperbaric oxygenation in the complex therapy of patients with COVID-19: retrospective study // *Marine medicine*. 2022. Vol. 8, No. 3. P. 48–61, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-48-61>.

THE EFFECTIVENESS OF THE INCLUSION OF HYPERBARIC OXYGENATION IN THE COMPLEX THERAPY OF PATIENTS WITH COVID-19: RETROSPECTIVE STUDY

Sergey S. Petrikov[✉], Anatoly K. Evseev^{*}, Olga A. Levina[✉], Aslan K. Shabanov[✉],
Irina V. Goroncharovskaya[✉], Natalia A. Potapova[✉], Daria S. Slobodeniuk[✉], Andrey A. Grin[✉]
Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia

INTRODUCTION: The pandemic of novel coronavirus disease (COVID-19) caused by the SARS-CoV-2 virus has forced physicians to reconsider traditional approaches to the treatment of patients with viral pneumonia and acute respiratory distress syndrome, when normobaric oxygenation methods were ineffective. The way out of this situation was the inclusion of hyperbaric oxygenation in the complex therapy of patients with COVID-19, as a recognized means of eliminating any form of oxygen debt due to more efficient delivery of oxygen to organs and tissues.

OBJECTIVE: To evaluate the effectiveness of hyperbaric oxygenation in the complex therapy of patients with a novel coronavirus infection with severe lung damage (more than 50%).

MATERIALS AND METHODS: We examined 75 patients with the diagnosis «Coronavirus infection caused by the virus SARS-CoV-2» (64 patients with CT-3, 11 patients with CT-4), 50 of whom were prescribed a course of hyperbaric oxygen therapy (HBOT). The procedures were carried out in a Sechrist 2800 resuscitation pressure chamber (USA) at 1.4–1.6 ATA for no more than 60 minutes. Before and after each HBOT session, subjective indicators of the patients' condition were assessed and blood oxygen saturation was measured. In addition, the dynamics of the level of leukocytes, platelets, ALT, AST and C-reactive protein were evaluated. In order to analyze oxygen support, the type (low-flow oxygen therapy, high-flow oxygen therapy) and daily oxygen consumption were recorded.

RESULTS: The inclusion of hyperbaric oxygenation in the complex therapy of patients with a novel coronavirus infection led to a significant increase in the level of SpO₂ by the 7th day in the study group to 92% (89; 94) vs. 88% (87; 92) in the control group ($p=0.011$), and by 14th day to 96% (95; 97) vs. 95% (90; 96) ($p<0.001$). This circumstance led to a significant decrease in the number of patients requiring additional oxygen support, which was 94% in the study group and 100% in the control group by the 7th day, and 16% in the study group and 44% in the control group by the 14th day. In particular, the number of patients requiring high-flow oxygen therapy in the study group decreased from 34% on the 5th day to 2% on the 14th day, while in the control group over the same period there was a decrease from 60% to 32%. When analyzing the volumetric oxygen consumption in the study group, even taking into account the oxygen consumption for hyperbaric oxygenation, a decrease in the average daily oxygen consumption was recorded from 13.9 L/min on the 5th day to 9.3 L/min on the 14th day, while in the control group for the same period from 17.2 L/min to 14.5 L/min. The length of stay of patients in the intensive care unit in the study group was 10 (8; 12) vs. 13 (11; 23) bed-days ($p=0.002$) in the control group, and the total length of hospitalization was 16 (13.3; 20) vs. 21 (19; 29) bed-days ($p<0.001$) in the study and control groups, respectively.

DISCUSSION: The early inclusion of hyperbaric oxygen therapy in the complex therapy of patients with a new coronavirus infection led to a significant increase in the level of SpO₂ starting from the 7th day. This circumstance led to a significant decrease in number of patients requiring additional oxygen support in the study group compared to the control. This, in turn, affected the reduction in volumetric oxygen consumption in the study group, even taking into account the oxygen consumption on hyperbaric oxygenation. In addition, in the study group, positive dynamics according to CT data, a more rapid decrease in the level of C-reactive protein, were more often recorded. All these observations indicate a more rapid normalization of the state of the body due to the elimination of hypoxia, a decrease in the inflammatory response and restoration of lung function in patients who underwent hyperbaric oxygen therapy.

CONCLUSION: The inclusion of HBO in the complex therapy of patients with a new coronavirus infection with severe lung damage (more than 50%) allows to stabilize the condition in a short time due to a more intensive decrease in the degree of lung damage according to CT data, early refusal of additional oxygen support, improvement of the psycho-emotional state, which in generally leads to a reduction in the length of stay of patients both in the ICU and in the hospital department.

KEYWORDS: marine medicine, hyperbaric oxygenation, respiratory support, novel coronavirus infection, COVID-19, hypoxia

Введение. В декабре 2019 г. во Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ) поступили данные о случаях пневмонии с неизвестным возбудителем в городе Ухань провинции Хубэй (КНР). Позже было выявлено, что новую острую респираторную инфекцию COVID-19 вызывает коронавирус SARS-CoV-2 (2019-nCov). Вирус обладал повышенной контагиозностью, быстро распространялся по всему миру, и 11 марта 2020 г. ВОЗ официально объявила о пандемии. По статистике ВОЗ к марту 2022 г. выявлено 440 млн случаев заболевания, из них более 6,0 млн — с летальным исходом.

Коронавирусная инфекция вызывает множество осложнений, декомпенсацию различных органов и систем, вследствие чего развиваются полиорганная недостаточность, сепсис, септический шок, что приводит к летальным исходам [1, с. 613–628; 2, с. 100618; 3, с. C1–C11; 4, с. 1504–1507; 5, 100057; 6, с. 474–479].

Основные начальные симптомы коронавирусной инфекции включают в себя лихорадку

$\geq 38^{\circ}$ C, сухой или с небольшим количеством мокроты кашель, одышку с частотой дыхательных движений (ЧДД) >22 в минуту. Также многие пациенты отмечают миалгию, слабость, ощущение заложенности в грудной клетке, головные боли, боль в горле, тахикардию, изменение обоняния (гипосмия и anosmia).

Одним из основных проявлений новой коронавирусной инфекции является развитие вирусной пневмонии, дыхательной недостаточности и острого респираторного дистресс-синдрома [7, 210065; 8, с. 7225–7242]. При этом тяжесть состояния пациентов коррелирует со степенью повреждения легких и степенью дыхательной недостаточности [9, 6697677; 10, 1103]. Кроме того, в исследованиях, посвященных взаимосвязи типа микробиоты верхних дыхательных путей с тяжестью развития COVID-19, было показано, что для московского региона характерно наличие в микробиоте *Streptococcus* и *Rothia*, присутствие которых связывают с более высокой степенью поражения легких [11, 107770; 12].

Для коррекции дыхательной недостаточности применяется ряд методов респираторной поддержки, подбираемых в соответствии с тяжестью состояния пациента. При уровне насыщения кислородом крови $<94\%$ и степени вовлечения паренхимы легкого по данным компьютерной томографии (КТ) до 25% начинается применение неинвазивных методик вентиляции, включающих в себя инсуффляцию увлажненным кислородом (до 6 л/мин), низкопоточную оксигенотерапию с использованием лицевых масок, масок Вентура, масок с резервуаром (до 15 л/мин), высокопоточную оксигенотерапию (до 60 л/мин), неинвазивную вентиляцию легких в режиме CPAP (Continuous Positive Airway Pressure — спонтанное дыхание с положительным давлением в дыхательных путях) или BiPAP (Bilevel Positive Airway Pressure — двухфазное положительное давление в дыхательных путях) [13, с. 47–56; 14, с. 679–687; 15, с. 305–312]. Использование неинвазивных методов позволяет избежать осложнений интубации трахеи и длительного нахождения эндотрахеальной трубки, снизить частоту нозокомиальных инфекций, уменьшить потребность в медикаментозной седации [13, с. 47–56]. Однако эффективность указанных методов у пациентов с новой коронавирусной инфекцией является предметом дискуссии [13, с. 47–56; 14, с. 679–687].

Отсутствие положительной динамики при использовании неинвазивных методов (прирост SpO_2 , снижение ЧДД) является показанием к интубации пациента и его переводу на инвазивную вентиляцию легких (ИВЛ) [15, с. 305–312; 16; 17, с. 1–4].

К сожалению, в случае тяжелого течения заболевания методы нормобарической оксигенации оказываются малоэффективными ввиду нарушения газообменной функции легких из-за снижения скорости диффузии кислорода в альвеолах и нарушения микроциркуляции вследствие образования микротромбов в капиллярах [18, с. 4–18]. В связи с этим предпринимаются попытки внедрения других способов ликвидировать состояние гипоксии. Достаточно широкое распространение получил метод экстракорпоральной мембранной оксигенации, заключающийся в подключении пациента к системе, обеспечивающей насыщение крови кислородом в обход легких, однако данный метод применяется в особо тяжелых случаях при массивном поражении легочной ткани и яв-

ляется уже крайней мерой [19, с. 1–7; 20, с. 485–495].

На фоне этого с целью снижения риска перевода пациента на инвазивную вентиляцию легких весьма перспективным оказалось внедрение в комплексную терапию больных COVID-19 метода гипербарической оксигенации (ГБО) [18, с. 4–18; 21, с. E001–E001; 22, с. 39–46; 23, с. 181–187; 24, с. S4–S8; 25, с. 405–413; 26, с. 314–320; 27, с. 88–93; 28, article e104475; 29, с. 393–410]. Во всех исследованиях было показано, что проведение сеансов ГБО у пациентов с COVID-19 приводило к увеличению SpO_2 . Помимо этого, отмечали снижение частоты дыхания [24, с. S4–S8], снижение уровня D-димера, C-реактивного белка, лактата, увеличение количества лимфоцитов [23, с. 181–187; 25, с. 405–413], нормализацию процессов перекисного окисления липидов и апоптоза [18, с. 4–18].

Немаловажно, что по данным КТ легких проведение ГБО способствует снижению интенсивности поражения легочной паренхимы, уменьшению объема поражения легочной ткани за счет регресса зон «матового стекла» и обратному развитию очагов консолидации [21, с. E001–E001; 27, с. 88–93; 28, article e104475; 29, с. 393–410].

Однако анализ результатов исследований влияния ГБО на течение заболевания у пациентов с COVID-19, как правило, проводится без учета тяжести состояния пациентов, хотя нами предварительно были получены данные о более выраженном эффекте проведения ГБО у пациентов со значительным поражением легочной ткани (КТ-3–4) [29, с. 393–410]. В связи с этим весьма актуальным является более детальное исследование эффективности включения ГБО в комплексную терапию этой категории пациентов.

Цель. Оценить эффективность применения гипербарической оксигенации в комплексной терапии пациентов с новой коронавирусной инфекцией с выраженным поражением легких (более 50%).

Материалы и методы. Было проведено ретроспективное обследование 81 пациента (44 мужчины, 37 женщин, средний возраст 60 (55; 70,5) лет) с диагнозом «Коронавирусная инфекция, вызванная вирусом SARS-CoV-2», проходившего лечение в НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского ДЗМ. Все пациенты получали стандартную терапию в соответствии

с рекомендациями Минздрава РФ и внутренними протоколами. От каждого пациента получено письменное информированное согласие на проведение лечения. По данным клинического обследования и КТ наблюдалась отрицательная динамика в течение первой недели с момента поступления в стационар в виде нарастания дыхательной недостаточности и увеличения сте-

позднее 7 суток с момента поступления в стационар. В процессе анализа из исследования были исключены 3 пациента основной группы и 3 пациента контрольной группы (рис. 1).

Таким образом, в заключительный анализ включены 50 пациентов исследуемой группы (срок начала ГБО — 4-е (3; 6) сутки) и 25 пациентов контрольной группы (табл. 1). Про-



Рис. 1. Схема отбора пациентов для анализа данных
Fig. 1. Scheme of patient inclusion and exclusion criteria for data analysis

пени поражения легких свыше 50% (КТ 3–4). Пациенты были распределены на две группы. Критерием включения в исследуемую группу было наличие в анамнезе назначения курса ГБО не

цедуры ГБО осуществляли в реанимационной барокамере *Sechrist 2800* (США) при режиме 1,4–1,6 АТА в течение 40 мин. Длительность курса составляла 5 (3; 5) сеансов.

Таблица 1

Характеристика обследованных пациентов в группах

Table 1

Characteristics of the examined patients in groups

Параметр	Группа		p
	контрольная	исследуемая	
Число пациентов	25	50	
Пол:			
мужской	9 (36,0%)	32 (64,0%)	0,050
женский	16 (64,0%)	18 (36,0%)	0,036*
Возраст, лет	65 (57; 75)	59,5 (51,5; 68)	0,051
Данные КТ легких:			
КТ-3	21 (84,0%)	43 (86,0%)	0,893
КТ-4	4 (16,0%)	7 (14,0%)	0,893
Терапия блокаторами «цитокинового шторма»	18 (72,0%)	37 (74,0%)	0,893
Переливание плазмы реконвалесценто	9 (36,0%)	20 (40,0%)	0,783
SpO ₂ на 1-е сутки после поступления, %	89 (85; 94)	90 (85,5; 92)	0,991
Кислородная поддержка на момент поступления:			
без поддержки	5 (20,0%)	7 (14,0%)	0,678
≤10 л/мин	16 (64,0%)	33 (66,0%)	0,893
>10 л/мин	4 (16,0%)	10 (20,0%)	0,783

Примечание: p — достоверность различий между группами по U-критерию Манна–Уитни; * различия статистически достоверны (p<0,05).

Note: p — significance of differences between the groups according to Mann–Whitney U-test; * differences are statistically significant (p<0.05).

До и после каждого сеанса ГБО оценивали субъективные показатели состояния пациентов и измеряли насыщение крови кислородом. Кроме того, оценивали динамику уровня лейкоцитов, тромбоцитов, АЛТ, АСТ и С-реактивного белка.

С целью анализа кислородной поддержки фиксировали тип (низкопоточная оксигенотерапия, высокопоточная оксигенотерапия) и суточный расход кислорода.

Статистический анализ данных проводили с помощью пакета программ Statistica 10 (StatSoft, Inc., США). Описательную статистику количественных признаков представили в виде Me (Q_{25} ; Q_{75}). Сопоставление исследуемых групп проводили с использованием U -критерия Манна–Уитни и критерия Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при значениях $p < 0,05$.

Результаты. Уровень SpO_2 на 5-е сутки составлял 90 (87,25; 92)% в исследуемой группе против 89 (87; 90)% ($p=0,460$) в контрольной группе, однако уже к 7-м суткам в исследуемой группе зафиксировано увеличение до 92 (89; 94)% против 88 (87; 92)% в контрольной группе ($p=0,011$), а к 14-м — до 96 (95; 97)% против 95 (90; 96)% ($p < 0,001$). Число пациентов, которых требовалось проведение дополнительной кислородной поддержки (общая оксигенотерапия/высокопоточная оксигенотерапия), на данных сроках составило: на 5-е сутки — 94%/34% в исследуемой группе и 100%/60% в контрольной группе, на 7-е сутки — 84%/18% против 100%/40%, на 14-е сутки — 16%/2% против 44%/32%. Расход кислорода достигал максимальных величин на 5-е сутки и в среднем составлял 11,9 (6,0; 16,3) л/мин в исследуемой группе против 15,8 (5,0; 27,0) л/мин ($p=0,413$) в контрольной и в дальнейшем снижался до 9,9 (8,8; 12,7) л/мин и 13,5 (7; 22,1) л/мин ($p=0,246$) на 7-е сутки и до 3,0 (3,0; 11,2) л/мин и 10,3 (5,8; 16,7) л/мин ($p=0,163$) на 14-е сутки в исследуемой и контрольной группе, соответственно. Сроки нахождения пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии в исследуемой группе составили 10 (8; 12) койко-дней против 13 (11; 23) койко-дней ($p=0,002$) в контрольной группе, а общий срок госпитализации — 16 (13,3; 20) койко-дней против 21 (19; 29) койко-дней ($p < 0,001$) в исследуемой и контрольной группе, соответственно.

Обсуждение. Было выдвинуто предположение об эффективности раннего включения ГБО

в комплексную терапию пациентов с новой коронавирусной инфекцией, вызванной вирусом SARS-CoV-2 [18, с. 4–18]. Особенно важную роль это играет при лечении пациентов с высокой степенью поражения легких (более 50%) и выраженной дыхательной недостаточностью.

Как видно из данных распределения количества сеансов ГБО в зависимости от сроков госпитализации (рис. 2), включение ГБО в ряде случаев начинали уже в первые сутки нахождения пациента в стационаре. Так, уже за первые 3 суток было проведено 11,2% всех сеансов ГБО. К 7-м суткам курс ГБО продолжался у 46 пациентов (92,0%), и суммарно к этому времени было проведено 134 сеанса, что составляло 55,4% от общего количества за весь период наблюдения. Далее назначение ГБО сокращалось, и к 14-м суткам только 2 пациента (4,0%) проходили оксигенобаротерапию.

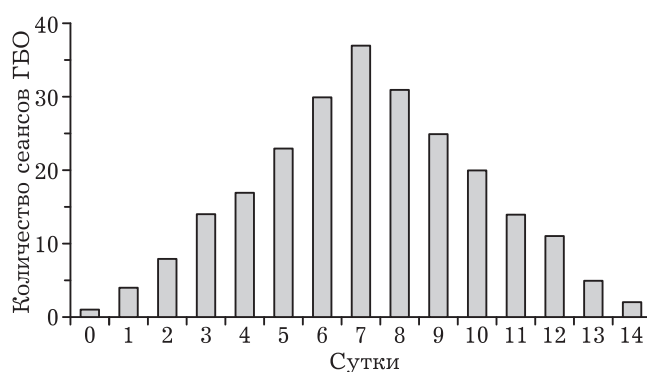


Рис. 2. Распределение количества сеансов гипербарической оксигенации в зависимости от сроков госпитализации

Fig. 2. Distribution of the number of hyperbaric oxygen therapy sessions depending on the duration of hospitalization

Большинство пациентов (16 человек — 32,0%) прошли курс ГБО, состоящий из 5 сеансов, от 2 до 4 сеансов получил 21 пациент (42,0%), от 6 до 8 сеансов — 11 пациентов (22,0%), а 10 и более — 2 пациента (4,0%) (рис. 3).

При анализе данных динамики уровня насыщения кислородом крови (рис. 4) видно, что до 5-х суток отсутствуют существенные различия показателей. Для группы контроля характерно более позднее начало клинических проявлений улучшения. Прирост уровня SpO_2 начинался только после 7-х суток и составил в среднем 0,5% в сутки с 7-х по 10-е сутки и 0,7% в сутки с 10-х по 14-е сутки.

В исследуемой группе заметное увеличение уровня SpO_2 начинало проявляться с 5-х суток

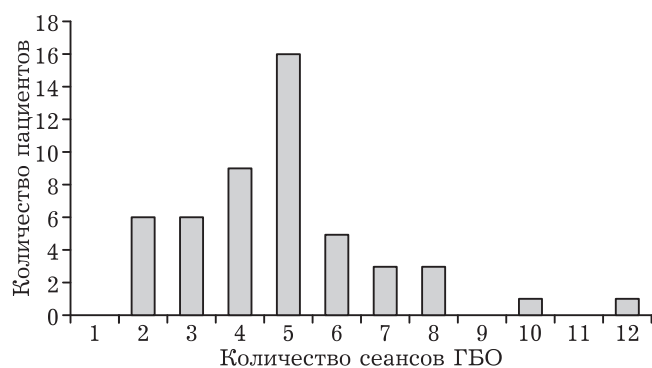


Рис. 3. Распределение количества сеансов гипербарической оксигенации, приходящихся на одного пациента

Fig. 3. Distribution of the number of hyperbaric oxygen therapy sessions per patient

с приростом в среднем на 0,9% в сутки до 10-х суток, после 10-х суток прирост составлял 0,4% в сутки. Данное наблюдение, связанное с изменением динамики на 5–14-е сутки, согласуется с проведением пациентам курса ГБО. На фоне ГБО на 5–10-е сутки рост уровня SpO₂ был более выраженным по сравнению с периодом после 10-х суток, что может быть связано с тем, что в период с 11 по 14-е сутки курс ГБО проводили только у 18 пациентов (36,0%), поскольку большая часть пациентов исследуемой группы (32 человека — 64,0%) завершила его к 10-м суткам. Можно предположить, что ГБО оказывает стимулирующее действие на организм, что приводит к более быстрой стабилизации уровня насыщения крови кислородом.

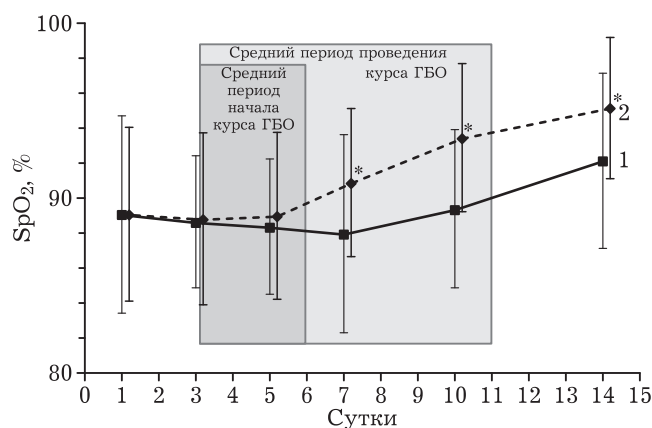


Рис. 4. Динамика уровня насыщения крови кислородом у пациентов контрольной (1) и исследуемой (2) групп
Примечание. Данные представлены в виде M±m. * — различие между группами по U-критерию Манна-Уитни (p<0,05).

Fig. 4. Dynamics of the level of blood oxygen saturation in patients of the control (1) and study (2) groups

Note: Data are presented as M±m. * — difference between groups according to the Mann–Whitney U-test (p<0,05).

Уровень SpO₂, в свою очередь, оказывает существенное влияние на кислородную поддержку. Так, если в контрольной группе к 5–7-м суткам количество пациентов, требующих кислородной поддержки и (как инсуффляции, так и высокопоточной оксигенотерапии), достигало 100%, к 10-м — снижалось до 92,0%, а к 14-м — до 44,0%, то в исследуемой группе уже с 5-х суток отмечали постоянное снижение количества пациентов, требующих дополнительной кислородной поддержки (рис. 5). К 14-м суткам в исследуемой группе на дополнительной кислородной поддержке находилось 16,0% больных.

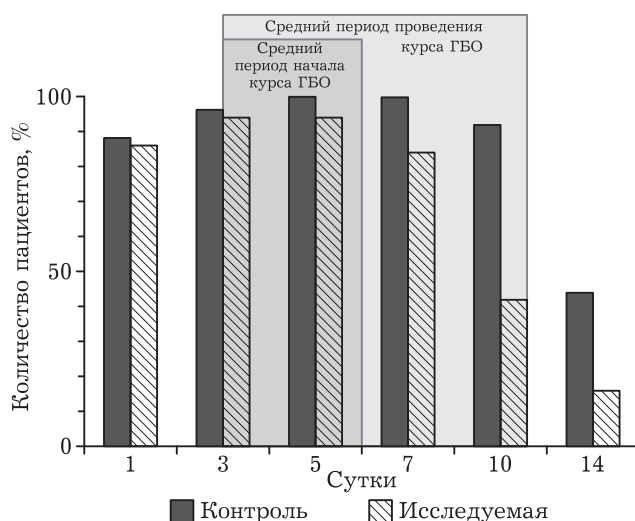


Рис. 5. Количество пациентов контрольной и исследуемой групп, требующих дополнительной кислородной поддержки

Fig. 5. The number of patients in the control and study groups requiring additional oxygen support

Отдельно стоит отметить использование высокопоточной оксигенотерапии (рис. 6). Включе-

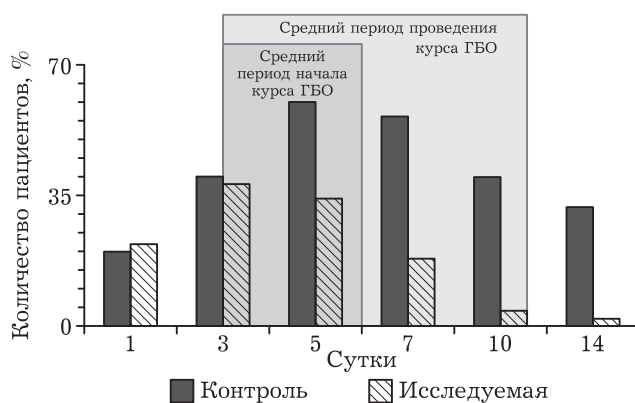


Рис. 6. Количество пациентов контрольной и исследуемой групп, требующих проведения высокопоточной оксигенотерапии

Fig. 6. The number of patients in the control and study groups requiring high-flow oxygen therapy

Таблица 2

Динамика клинико-лабораторных показателей у пациентов контрольной и исследуемой групп

Table 2

Dynamics of clinical and laboratory parameters in patients of the control and study groups

Параметр	Группа	Сроки с момента поступления в стационар (сутки)									
		1	3	5	7	10	14				
SpO ₂ , %	Контрольная	89 (85; 94)	88 (87; 90)	89 (87; 90)	88 (87; 92)	90 (88; 92)	95 (90; 96)				
	Исследуемая	90 (85,5; 92) p=0,991	90 (87; 92) p=0,382	90 (87,25; 92) p=0,460	92 (89; 94) p=0,011*	95 (91; 96) p<0,001*	96 (95; 97) p<0,001*				
Расход кислорода, л/мин	Контрольная	5,0 (3,0; 9,5)	8,0 (4,5; 20,2)	15,8 (5,0; 27,0)	13,5 (7; 22,1)	7,0 (5,0; 18,1)	10,3 (5,8; 16,7)				
	Исследуемая (без учета ГБО)	5,0 (3,0; 11,0) p=0,848	6,0 (5,0; 15,7) p=0,717	5,0 (4,5; 12,5) p=0,053	5,0 (3,0; 7,8) p<0,001*	5,0 (3,3; 5,0) p<0,001*	3,0 (3,0; 4,3) p=0,024*				
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	Исследуемая	5,0 (3,8; 10,5) p=0,574	11,3 (5,0; 15,8) p=0,719	11,9 (6,0; 16,3) p=0,413	9,9 (8,8; 12,7) p=0,246	8,9 (6,0; 11,9) p=0,613	3,0 (3,0; 11,2) p=0,163				
	Контрольная	4,90 (4,28; 6,82)	3,71 (2,60; 5,21)	4,11 (3,16; 5,37)	4,36 (3,38; 5,91)	4,88 (2,75; 6,20)	4,82 (3,60; 6,72)				
Тромбоциты, ×10 ⁹ /л	Исследуемая	6,16 (4,59; 7,68) p=0,295	5,32 (4,12; 7,83) p=0,055	5,37 (3,61; 7,68) p=0,479	5,74 (4,70; 9,23) p=0,058	7,21 (4,76; 10,19) p=0,024*	5,52 (4,11; 6,86) p ² =0,385				
	Контрольная	124 (115; 154,5)	167 (133,5; 248,8)	254,5 (183,3; 282)	264 (220,5; 280,8)	202 (186; 276,5)	223 (182; 267)				
АЛТ, ед/л	Исследуемая	182,5 (150; 227,0) p=0,002*	254 (205; 299,5) p=0,075	273 (226; 328) p=0,367	298 (238; 387) p=0,077	305,5 (241,8; 396,5) p=0,055	264 (193; 318) p=0,227				
	Контрольная	30,0 (26,7; 49,3)	35,4 (24,5; 43,5)	46,0 (27,7; 51,5)	55,4 (32,2; 103,0)	65,8 (47,8; 103,6)	79,6 (57,1; 100,0)				
АСТ, ед/л	Исследуемая	39,8 (27,4; 78,2) p=0,292	64,1 (33,4; 101,4) p=0,055	120,1 (53,2; 146,0) p=0,045*	106,5 (59,7; 240,0) p=0,025*	104,3 (52,5; 133,0) p=0,112	78,2 (47,9; 111,7) p=0,991				
	Контрольная	37,4 (29,5; 52,0)	45,3 (35,0; 55,8)	49,5 (29,6; 69,4)	53,5 (37,2; 64,2)	51,9 (34,2; 70,4)	47,0 (30,8; 57,1)				
С-реактивный белок, мг/л	Исследуемая	46,0 (35,8; 67,4) p=0,138	55,4 (35,8; 74,1) p=0,499	61,4 (33,0; 104,6) p=0,606	61,5 (28,9; 101,0) p=0,405	38,2 (32,7; 56,4) p=0,461	37,5 (29,8; 44,8) p=0,609				
	Контрольная	81,0 (49,1; 149,0)	49,9 (39,5; 109,5)	32,8 (18,9; 102,8)	14,4 (7,6; 40,1)	13,9 (4,9; 24,6)	1,6 (1,0; 7,4)				
С-реактивный белок, мг/л	Исследуемая	88,9 (20,6; 158,0) p=0,601	36,2 (7,0; 77,0) p=0,046*	13,7 (4,8; 22,9) p=0,012*	4,6 (2,1; 6,6) p=0,023*	2,7 (1,6; 4,4) p=0,014*	1,0 (0,6; 2,7) p=0,238				

Примечание: p — различие между группами по U-критерию Манна-Уитни, * различия статистически достоверны (p<0,05).

Note: p — significance of differences between the groups according to Mann-Whitney U-test, * differences are statistically significant (p<0,05).

ние ГБО в комплексную терапию пациентов исследуемой группы позволило сократить необходимость в ВПО начиная с 5-х суток с момента госпитализации с постоянным снижением его использования практически до полного отказа к 14-м суткам (только один пациент на ВПО). В то же время в контрольной группе к 5-м суткам кислородная поддержка с использованием ВПО возрастала в 1,5 раза, достигая 60,0%, и только начиная с 7-х суток отмечено незначительное снижение кислородной поддержки. При этом даже на 14-е сутки дополнительная кислородная поддержка с использованием ВПО требовалась 32,0% пациентов. Кроме того, напомним, что 3 пациентам контрольной группы, исключенным из анализа, в период 3–5-х суток потребовались интубация и перевод на ИВЛ.

При анализе клинико-лабораторных показателей не было отмечено значительных различий в динамике изменения уровня лейкоцитов, тромбоцитов, АЛТ и АСТ у пациентов обеих групп (табл. 2). В то же время начиная с 3-х суток наблюдалась более выраженная динамика снижения уровня С-реактивного белка у пациентов, получавших сеансы ГБО, по сравнению с пациентами контрольной группы (см. табл. 2). Это наблюдение подтверждает полученные ранее данные о противвос-

палительном действии ГБО при различных патологических состояниях [30, article 36; 31, с. 536–545; 32, article 2328505; 33, с. 404–409; 34, article 1210], в том числе при COVID-19 [25, с. 405–413].

С экономической точки зрения весьма важным является расчет потребления кислорода при лечении пациентов с COVID-19. При проведении анализа потребления кислорода расход на ГБО принимали из расчета 10 м³ кислорода на 1 сеанс в барокамере Sechrist 2800 при давлении 1,5 АТА. При использовании барокамеры БЛКС-303МК (АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», Россия) ориентировочный расход кислорода на 1 сеанс составит 6 м³, а барокамеры БЛКС-307-«Хруничев» (АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», Россия) — 9 м³. В случае ВПО учитывали фракцию кислорода в воздушно-кислородной смеси.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что объемное потребление кислорода в контрольной группе увеличивалось с момента поступления пациента в стационар и достигало максимума, в среднем 17,2 л/мин, на 5–7-е сутки, однако к 14-м суткам объемное потребление было все равно весьма высоким и составляло в среднем 14,5 л/мин. В исследуемой группе при учете только дополнительной кис-

Таблица 3

Показатели качества лечения пациентов с COVID-19 на 14-е сутки после поступления в стационар

Table 3

Quality indicators of treatment of patients with COVID-19 on the 14th day after admission to the hospital

Параметр	Группы				p
	контрольная		исследуемая		
	1-е сутки	14-е сутки	1-е сутки	14-е сутки	
SpO ₂ , %	89 (85; 94)	95 (90; 96)	90 (85,5; 92)	96 (95; 97)	<0,001*
Кислородная поддержка без поддержки	5 (20,0%)	13 (52,0%)	7 (14,0%)	42 (84,0%)	0,025*
≤10 л/мин	16 (64,0%)	6 (24,0%)	33 (66,0%)	7 (14,0%)	0,486
>10 л/мин	4 (16,0%)	6 (24,0%)	10 (20,0%)	1 (2,0%)	0,124
Данные КТ легких на 14-е сутки:					
КТ-1	0 (0,0%)		2 (4,0%)		0,783
КТ-2	3 (12,0%)		19 (38,0%)		0,025*
КТ-3	19 (76,0%)		25 (50,0%)		0,093
КТ-4	3 (12,0%)		4 (8,0%)		0,893
Койко-дни:			10 (8; 12)		
ОРИТ	13 (11; 23)		16 (13,3; 20)		0,002*
общее	21 (19; 29)				<0,001*

Примечание: p — различие между группами на 14-е сутки по U-критерию Манна–Уитни, * различия статистически достоверны (p<0,05).

Note: p — significance of differences between the groups on the 14th day according to Mann–Whitney U-test, * differences are statistically significant (p<0,05).

лородной поддержки максимум объемного потребления приходился на 3-и сутки и составлял в среднем 11,7 л/мин, с 5-х суток потребление сокращалось и достигало в среднем 7,6 л/мин к 14-м суткам. При учете расхода кислорода, идущего на ГБО, максимум потребления приходился на 3–5-е сутки и составлял в среднем 13,6 л/мин. В дальнейшем потребление сокращалось и к 14-м суткам составляло в среднем 9,3 л/мин.

Очевидно, что, несмотря на, казалось бы, высокие значения потребления кислорода при проведении сеансов ГБО, заметная разница в общем объеме потребляемого кислорода у пациентов исследуемой группы с 5-х суток была на 19% ниже, чем в контрольной группе, а к 7–14-м суткам достигла 35%.

При анализе динамики степени поражения легких по данным КТ, к 14-м суткам в контрольной группе показатели практически совпадали с данными промежуточного контроля (табл. 3): у 3 пациентов (12,0%) улучшение до КТ-2, на 8,0% снизилось количество пациентов с КТ-3 и на 4,0% — пациентов с КТ-4. В исследуемой группе к 14-м суткам было 2 пациента (4,0%) с КТ-1, 19 пациентов (38,0%) с КТ-2,

кроме того, на 36,0% снизилось количество пациентов с КТ-3 и на 6,0% — пациентов с КТ-4.

Помимо снижения экономических затрат за счет более низкого расхода кислорода, включение ГБО в комплексную терапию пациентов с COVID-19 повлияло на сроки их нахождения в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и госпитальном отделении (см. табл. 3), что также дает существенный экономический эффект благодаря сокращению использования расходных материалов и увеличению оборота койки.

Заключение. Пациенты с новой коронавирусной инфекцией с выраженным поражением легких (более 50%) требуют особого внимания ввиду тяжести состояния и высокого риска интубации трахеи и перевода на ИВЛ. Включение ГБО в комплексную терапию позволяет за короткий срок стабилизировать состояние таких пациентов за счет более интенсивного снижения степени поражения легких по данным КТ, раннего отказа от дополнительной кислородной поддержки, улучшения психоэмоционального состояния, что в целом приводит к сокращению сроков нахождения больных как в ОРИТ, так и в госпитальном отделении.

Сведения об авторах:

Петриков Сергей Сергеевич — доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, директор государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: PetrikovSS@sklif.mos.ru; ORCID 0000-0003-3292-8789, AuthorID: 582946;

Евсеев Анатолий Константинович — доктор химических наук, ведущий научный сотрудник отделения общей реанимации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: EvseevAK@sklif.mos.ru; SPIN 1380-7224; ORCID 0000-0002-0832-3272; AuthorID: 697167, Web of Science Researcher ID: N-1324-2017;

Левина Ольга Аркадьевна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: levina_olga@bk.ru; SPIN 9445-7109; ORCID 0000-0002-4811-0845, AuthorID: 959773;

Шабанов Аслан Курбанович — доктор медицинских наук, заместитель главного врача по анестезиологии и реаниматологии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: aslan_s@mail.ru; SPIN 8501-3735; ORCID 0000-0002-3417-2682, AuthorID: 218237, Web of Science Researcher ID: N-3815-2013;

Горончаровская Ирина Викторовна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник отделения общей реанимации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: goririna22@gmail.com; SPIN 3526-6514; ORCID 0000-0003-0113-306X; AuthorID: 837960, Web of Science Researcher ID: N-1326-2017;

Потапова Наталья Александровна — врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии № 1 государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: PotapovaNA@sklif.mos.ru; AuthorID: 201332;

Дарья Сергеевна Слободенюк — врач-анестезиолог-реаниматолог отделения общей реанимации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: fdashka@mail.ru;

Гринь Андрей Анатольевич — доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, руководитель отделения неотложной нейрохирургии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; e-mail: aagreen@yandex.ru; SPIN 2194–2598; ORCID 0000–0003–3515–8329; AuthorID: 781764.

Information about the authors:

Sergey S. Petrikov — Dr. of Sci. (Med.), Corresponding member of RAS, Director of N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: PetrikovSS@sklif.mos.ru; ORCID 0000–0003–3292–8789; AuthorID: 582946;

Anatoly K. Evseev — Dr. of Sci. (Chem.), Leading Researcher of the Intensive care Unit, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: EvseevAK@sklif.mos.ru; SPIN 1380–7224; ORCID 0000–0002–0832–3272; AuthorID: 697167; Web of Science Researcher ID: N-1324–2017;

Olga A. Levina — Cand. Of Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department of Emergency Neurosurgery, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: levina_olga@bk.ru; SPIN 9445–7109; ORCID 0000–0002–4811–0845; AuthorID: 959773;

Aslan K. Shabanov — Dr. of Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for Anesthesiology and Resuscitation, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: aslan_s@mail.ru; SPIN 8501–3735; ORCID 0000–0002–3417–2682; AuthorID: 218237; Web of Science Researcher ID: N-3815–2013;

Irina V. Goroncharovskaya — Cand. of Sci. (Chem.), Senior Researcher of the Intensive care Unit, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: goririna22@gmail.com; SPIN 3526–6514; ORCID 0000–0003–0113–306X; AuthorID: 837960; Web of Science Researcher ID: N-1326–2017;

Natalia A. Potapova — Anesthesiologist and Intensive Care Physician of the Intensive Care Unit № 1, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: PotapovaNA@sklif.mos.ru; AuthorID: 201332;

Daria S. Slobodeniuk — Anesthesiologist and Intensive Care Physician of the Intensive Care Unit, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: fdashka@mail.ru;

Andrey A. Grin — Dr. of Sci. (Med.), Corresponding member of RAS, Head of the Department of Emergency Neurosurgery, N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, 129090, Moscow, Bolshaya Sukharevskaya sq., 3; e-mail: aagreen@yandex.ru; ORCID 0000–0003–3515–8329; SPIN 2194–2598; AuthorID: 781764.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом. Вклад в концепцию и план исследования — *С. С. Петриков, А. К. Евсеев, О. А. Левина, А. К. Шабанов, И. В. Горонcharовская, А. А. Гринь*. Вклад в сбор и математический анализ данных — *А. К. Евсеев, О. А. Левина, И. В. Горонcharовская, Н. А. Потапова, Д. С. Слободенюк*. Вклад в подготовку рукописи — *А. К. Евсеев, И. В. Горонcharовская, О. А. Левина, С. С. Петриков, А. К. Шабанов, А. А. Гринь, Н. А. Потапова, Д. С. Слободенюк*.

Author contribution. All authors equally participated in the preparation of the article in accordance with the ICMJE criteria. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *SSP, AKE, OAL, AKSh, IVG, AAG* aided in the concept and plan of the study; *AKE, OAL, IVG, NAP, DSS* provided collection and mathematical analysis of data. *AKE, IVG, OAL, SSP, AKSh, AAG, NAP, DSS* aided in the manuscript preparation.

Соответствие принципам этики. Исследования были организованы и проведены в соответствии с положениями и принципами действующих международных и российских законодательных актов, в частности Хельсинкской декларации 1975 г. и ее пересмотра 2013 г. Легитимность исследований подтверждена заключением комитета по биомедицинской этике го-

сударственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы» (протокол № 10-21 от 18.11.2021).

Adherence to ethical standards. The research was organized and conducted in accordance with the provisions and principles of the current international and Russian legislative acts, in particular the Helsinki Declaration of 1975 and its revision in 2013. The legitimacy of the research was confirmed by the conclusion of the Biomedical Ethics Committee at the N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine (Protocol No. 10-21 of 18.11.2021).

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Поступила /Received: 23.08.2022

Принята к печати/ Accepted: 02.09.2022

Опубликована/ Published: 30.09.2022

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Mokhtari T, Hassani F, Ghaffari N, Ebrahimi B, Yarahmadi A, Hassanzadeh G. COVID-19 and multiorgan failure: A narrative review on potential mechanisms // *J. Mol. Histol.* 2020. Vol. 51, No. 6. P. 613–628. doi: 10.1007/s10735-020-09915-3.
2. Zaim S, Chong J.H., Sankaranarayanan V., Harky A. COVID-19 and Multiorgan Response // *Curr. Probl. Cardiol.* 2020. Vol. 45, No. 8. Article 100618. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2020.100618.
3. Desai A.D., Lavelle M., Boursiquot B.C., Wan E.Y. Long-term complications of COVID-19 // *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2022. Vol. 322, No. 1. P. C1–C11. doi: 10.1152/ajpcell.00375.2021.
4. Long B, Brady W.J., Koefman A., Gottlieb M. Cardiovascular complications in COVID-19 // *Am. J. Emerg. Med.* 2020. Vol. 38, No. 7. P. 1504–1507. PMID: 32317203. doi: 10.1016/j.ajem.2020.04.048.
5. Liu D., Wang Q., Zhang H., Cui L., Shen F., Chen Y., Sun J., Gan L., Sun J., Wang J., Zhang J., Cai Q., Deng J., Jiang J., Zeng L. Viral sepsis is a complication in patients with Novel Corona Virus Disease (COVID-19) // *Med. Drug Discov.* 2020. Vol. 8. Article 100057. doi: 10.1016/j.medidd.2020.100057.
6. Da Silva Ramos F.J., de Freitas F.G.R., Machado F.R. Sepsis in patients hospitalized with coronavirus disease 2019: how often and how severe? // *Curr. Opin. Crit. Care.* 2021. Vol. 27, No. 5. P. 474–479. doi: 10.1097/MCC.0000000000000861.
7. Laveneziana P., Sesé L., Gille T. Pathophysiology of pulmonary function anomalies in COVID-19 survivors // *Breathe.* 2021. Vol. 17, No. 3. Article 210065. doi: 10.1183/20734735.0065-2021.
8. Hussain M., Syed S.K., Fatima M., Shaikat S., Saadullah M., Alqahtani A.M., Alqahtani T., Emran T.B., Alamri A.H., Barkat M.Q., Wu X. Acute respiratory distress syndrome and COVID-19: A literature review // *J. Inflamm. Res.* 2021. Vol. 14. P. 7225–7242. doi: 10.2147/JIR.S334043.
9. Saeed G.A., Gaba W., Shah A., Helali A.A.A., Raidullah E., Ali A.B.A., Elghazali M., Ahmed D.Y., Kaabi S.G.A., Almazrouei S. Correlation between chest CT severity scores and the clinical parameters of adult patients with COVID-19 pneumonia // *Radiol. Res. Pract.* 2021. Vol. 2021. Article 6697677. doi: 10.1155/2021/6697677.
10. Lei Q., Li G., Ma X., Tian J., Wu Y.F., Chen H., Xu W., Li C., Jiang G. Correlation between CT findings and outcomes in 46 patients with coronavirus disease // *Sci. Rep.* 2019. Vol. 11. Article 1103. doi: 10.1038/s41598-020-79183-4.
11. Galeeva J., Babenko V., Bakhtyev R., Baklaushev V., Balykova L., Bashkirov P., Bespyatykh J., Blagonravova A., Boldyreva D., Fedorov D., Gafurov I., Gaifullina R., Galova E., Gospodaryk A., Ilina E., Ivanov K., Kharlampieva D., Khromova P., Klimina K., Kolontarev K., Kolyshkina N., Koritsky A., Kuropatkin V., Lazarev V., Manolov A., Manuvera V., Matyushkina D., Morozov M., Moskaleva E., Musarova V., Ogarkov O., Orlova E., Pavlenko A., Petrova A., Pozhenko N., Pushkar D., Rummyantsev A., Rummyantsev S., Rummyantsev V., Rychkova L., Samoilov A., Shirokova I., Sinkov V., Solovieva S., Starikova E., Tikhonova P., Trifonova G., Troitsky A., Tulichev A., Udalov Yu., Varizhuk A., Vasiliev A., Veselovsky V., Vereshchagin R., Volnukhin A., Yusubalieva G., Govorun V. 16S rRNA gene sequencing data of the upper respiratory tract microbiome in the SARS-CoV-2 infected patients // *Data Br.* 2022. Vol. 40. Article 107770. doi: 10.1016/j.dib.2021.107770.
12. Babenko V., Bakhtyev R., Baklaushev V., Balykova L., Bashkirov P., Bespyatykh J., Blagonravova A., Boldyreva D., Fedorov D., Gafurov I., Gaifullina R., Galeeva J., Galova E., Gospodaryk A., Ilina E., Ivanov K., Kharlampieva D., Khromova P., Klimina K., Kolontarev K., Kolyshkina N., Koritsky A., Kuropatkin V., Lazarev V., Manolov A., Manuvera V., Matyushkina D., Morozov M., Moskaleva E., Musarova V., Ogarkov O., Orlova E., Pavlenko A., Petrova A., Pozhenko N., Pushkar D., Rummyantsev A., Rummyantsev S., Rummyantsev V., Rychkova L., Samoilov A., Shirokova I., Sinkov V., Solovieva S., Starikova E., Tikhonova P., Trifonova G., Troitsky A., Tulichev A., Udalov Yu., Varizhuk A., Vasiliev A., Vereshchagin R., Veselovsky V., Volnukhin A., Yusubalieva G., Govorun V. Analysis of the upper respiratory tract microbiota in mild and severe COVID-19 patients // *bioRxiv* 2021.09.20.461025. doi: 10.1101/2021.09.20.461025.

13. Цыганков К.А., Грачев И.Н., Шаталов В.И., Щеголев А.В., Аверьянов Д.А., Лакотко Р.С., Карнаушкина М.А. Влияние неинвазивных методик респираторной поддержки на частоту летального исхода у взрослых пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью, вызванной новой коронавирусной инфекцией // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2021. Т. 18, № 1. С. 47–56. Tsygankov K.A., Grachev I.N., Shatalov V.I., Schegolev A.V., Averyanov D.A., Lakotko R.S., Karnauskhina M.A. Vliyanie neinvazivnykh metodik respiratornoi podderzhki na chastotu letal'nogo iskhoda u vzroslykh patsientov s tyazheloi dykhatel'noi nedostatochnost'yu, vyzvannoi novoi koronavirusnoi infektsiei // *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2021. Vol. 18, No. 1. S. 47–56. [Tsygankov K.A., Grachev I.N., Shatalov V.I., Schegolev A.V., Averyanov D.A., Lakotko R.S., Karnauskhina M.A. The impact of non-invasive respiratory support techniques on the lethal outcome frequency in adult with severe respiratory failure caused by the new coronavirus infection. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2021, Vol. 18, No. 1, pp. 47–56 (In Russ.)]. doi: 10.21292/2078-5658-2021-18-1-47-56.
14. Авдеев С.Н. Неинвазивная вентиляция легких при новой коронавирусной инфекции COVID-19 // *Пульмонология*. 2020. Т. 30, № 5. С. 679–687. Avdeev S.N. Neinvazivnaya ventilyatsiya legkikh pri novoi koronavirusnoi infektsii // *Pulmonologiya*. 2020. Vol. 30, No. 5. S. 679–687. [Avdeev S.N. Non-invasive ventilation in patients with novel coronavirus infection COVID-19. *Russian Pulmonology Journal*, 2020, Vol. 30, No. 5, pp. 679–687 (In Russ.)]. doi: 10.18093/0869-0189-2020-30-5-679-687.
15. Winck J.C., Scala R. Non-invasive respiratory support paths in hospitalized patients with COVID-19: proposal of an algorithm // *Pulmonology*. 2021. Vol. 27, No. 4. P. 305–312. doi: 10.1016/j.pulmoe.2020.12.005.
16. Cai S., Zhu F., Hu H., Xiang H., Wang D., Wang J., Li L., Yang X., Qin A., Rao X., Luo Y., Li J., Kashani K.B., Hu B., Peng Z. Assessment of respiratory support decision and the outcome of invasive mechanical ventilation in severe COVID-19 with ARDS // *J. Intensive Med.* 2022. doi: 10.1016/j.jointm.2021.12.003.
17. Wunsch H. Mechanical Ventilation in COVID-19: Interpreting the Current Epidemiology // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2020. Vol. 202, No. 1. P. 1–4. doi: 10.1164/rccm.202004-1385ED
18. Petrikov S.S., Evseev A.K., Levina O.A., Shabanov A.K., Kulabukhov V.V., Kutrovskaya N.Yu., Borovkova N.V., Klychnikova E.V., Goroncharovskaya I.V., Tazina E.V., Popugaev K.A., Kosolapov D.A., Slobodeniuk D.S. Hyperbaric oxygen therapy in patients with COVID-19 // *General Reanimatology*. 2020. Vol. 16, No. 6. P. 4–18. doi: 10.15360/1813-9779-2020-6-4-18.
19. Bertini P., Guarracino F., Falcone M., Nardelli P., Landoni G., Nocchi M., Paternoster G. ECMO in COVID-19 patients: A systematic review and meta-analysis // *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2021. In Press. doi: 10.1053/j.jvca.2021.11.006.
20. Badulak J., Antonini M.V., Stead C.M., Shekerdemian L., Raman L., Paden M.L., Agerstrand C., Bartlett R.H., Barrett N., Combes A., Lorusso R., Mueller T., Ogino M.T., Peek G., Pellegrino V., Rabie A.A., Salazar L., Schmidt M., Shekar K., MacLaren G., Brodie D. Extracorporeal Membrane Oxygenation for COVID-19: Updated 2021 Guidelines from the Extracorporeal Life Support Organization // *ASAIO Journal*. 2021. Vol. 67, No. 5. P. 485–495. doi: 10.1097/MAT.0000000000001422.
21. Zhong X., Tao X., Tang Y., Chen R. The outcomes of hyperbaric oxygen therapy to retrieve hypoxemia of severe novel coronavirus pneumonia: first case report // *Chin. J. Naut. Med. Hyperbaric Med.* 2020. Vol. 27. P. E001-E001. doi: 10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2020.0001.e.
22. Самойлов А.С., Удалов Ю.Д., Шеянов М.В., Жолинский А.В., Литвиненко А.Б. Опыт применения гипербарической оксигенотерапии с использованием портативных барокамер для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // *Биомедицина*. 2020. Т. 16, № 2. С. 39–46. Samoilov A.S., Udalov Yu.D., Sheyanov M.V., Gholinsky A.V., Litvinenko A.B. Opyt primeneniya giperbaricheskoi oksigenatsii s ispol'zovaniem portativnykh barokamer dlya lecheniya patsientov s novoi koronavirusnoi infektsiei COVID-19 // *Biomeditsina*. 2020. Vol. 16, No. 2. S. 39–46. [Experience in applying hyperbaric oxygen therapy using portable pressure chambers for the treatment of patients with the novel coronavirus infection COVID-19. *Journal Biomed.*, 2020, Vol. 16, No. 2, pp. 39–46 (In Russ.)]. doi: 10.33647/2074-5982-16-2-39-46.
23. Guo D., Pan S., Wang M.M., Guo Y. Hyperbaric oxygen therapy may be effective to improve hypoxemia in patients with severe COVID-2019 pneumonia: two case reports // *Undersea Hyperbaric Medicine*. 2020. Vol. 47, No. 2. P. 181–187.
24. Thibodeaux K., Speyrer Z., Raza A., Yaakov R., Serena T.E. Hyperbaric oxygen therapy in preventing mechanical ventilation in COVID-19 patients: a retrospective case series // *J. Wound Care*. 2020. Vol. 29, Sup. 5a. P. S4–S8. doi: 10.12968/jowc.2020.29.Sup5a.S4.
25. Gorenstein S.A., Castellano M.L., Slone E.S., Gillette B., Liu H., Alsamarraie C., Jacobson A.M., Wall S.P., Adhikari S., Swartz J.L., McMullen J.J.S., Osorio M., Koziatsek C.A., Lee D.C. Hyperbaric oxygen therapy for COVID-19 patients with respiratory distress: treated cases versus propensity-matched controls // *Undersea Hyperbaric Medicine*. 2020. Vol. 47, No. 3. P. 405–413.
26. Левина О.А., Евсеев А.К., Шабанов А.К., Кулабухов В.В., Кутровская Н.Ю., Горончаровская И.В., Попугаев К.А., Косолапов Д.А., Слободенюк Д.С., Петриков С.С. Безопасность применения гипербарической оксигенации при

- лечения COVID-19 // *Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2020. Т. 9, № 3. С. 314–320. Levina O.A., Evseev A.K., Shabanov A.K., Kulabukhov V.V., Kutrovsкая N.Y., Goroncharovskaya I.V., Popugaev K.A., Kosolapov D.A., Slobodeniuk D.S., Petrikov S.S. Bezopasnost' primeneniya giperbaricheskoi oksigenatsii pri lechenii COVID-19 // *Zhurnal im. N. V. Sklifosovskogo «Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch»*. 2020. Vol. 9, No. 3. S. 314–320. [The safety of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of Covid-19. *Russian Sklifosovsky Journal «Emergency Medical Care»*, 2020, Vol. 9, No. 3, pp. 314–320 (In Russ.)]. doi: 10.23934/2223-9022-2020-3-314-320.
27. Cannellotto M., Duarte M., Keller G., Larrea R., Cunto E., Chediack V., Mansur M., Daniela M Brito D.M., García E., Di Salvo H.E., Verdini F., Domínguez C., Jorda-Vargas L., Roberti J., Di Girolamo G., Estrada E. Hyperbaric oxygen as an adjuvant treatment for patients with COVID-19 severe hypoxaemia: a randomised controlled trial // *Emerg. Med. J.* 2022. Vol. 39, No. 2. P. 88–93. doi: 10.1136/emered-2021-211253.
28. Liang Y., Fan N., Zhong X., Fan W. A case report of a patient with severe type of coronavirus disease 2019 (COVID-19) treated by hyperbaric oxygen: CT dynamic changes // *Iran. J. Radiol.* 2020. Vol. 17, No. 4. Article e104475. doi: 10.5812/iran-jradiol.104475.
29. Левина О.А., Евсеев А.К., Шабанов А.К., Горончаровская И.В., Кулабухов В.В., Боровкова Н.В., Клычникова Е.В. Гипербарическая оксигенация в лечении пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // *Диагностика и интенсивная терапия больных COVID-19: рук-во для врачей / под ред. С. С. Петрикова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. С. 393–410. Levina O.A., Evseev A.K., Shabanov A.K., Goroncharovskaya I.V., Kulabukhov V.V., Borovkova N.V., Klychnikova E.V. Giperbaricheskaya oksigenatsiya v lechenii patsientov s novoi koronavirusnoi infektsiei COVID-19 // *Diagnostika i intensivnaya terapiya bol'nykh COVID-19: ruk-vo dlya vrachei / pod red. S. S. Petrikova. Moscow: publishing house GEOTAR-Media, 2021, pp. 393–410 [Levina O.A., Evseev A.K., Shabanov A.K., Goroncharovskaya I.V., Kulabukhov V.V., Borovkova N.V., Klychnikova E.V. Hyperbaric oxygenation in therapy of patients with novel coronavirus infection COVID-19 // Petrikov S.S. (ed.) *Diagnostic and intensive therapy in patients with COVID-19: guidelines for physicians. Moscow: publishing house GEOTAR-Media, 2021, pp. 393–410 (In Russ.)].***
30. Rossignol D.A., Rossignol L.W., James S.J., Melnyk S., Mumper E. The effects of hyperbaric oxygen therapy on oxidative stress, inflammation, and symptoms in children with autism: an open-label pilot study // *BMC Pediatrics*. 2007. Vol. 7, Article 36. doi: 10.1186/1471-2431-7-36.
31. Chen C.Y., Wu R.W., Hsu M.C., Hsieh C.J., Chou C.M. Adjunctive hyperbaric oxygen therapy for healing of chronic diabetic foot ulcers // *J. Wound Ostomy. Continence Nurs.* 2017. Vol. 44, No. 6. P. 536–545. doi: 10.1097/WON.0000000000000374.
32. Resanovic I., Gluvic Z., Zaric B., Sudar-Milovanovic E., Jovanovic A., Milacic D., Isakovic R., Isenovic E.R. Early effects of hyperbaric oxygen on inducible nitric oxide synthase activity/expression in lymphocytes of type 1 diabetes patients: A prospective pilot study // *Int. J. Endocrinol.* 2019. Vol. 2019. Article 2328505. doi: 10.1155/2019/2328505.
33. Mulawarmanti D., Parisihni K., Widyastuti W. The impact of hyperbaric oxygen therapy on serum C-reactive protein levels, osteoprotegerin expression, and osteoclast numbers in induced-periodontitis diabetic rats // *Eur. J. Dent.* 2020. Vol. 14, No. 3. P. 404–409. doi: 10.1055/s-0040-1712072.
34. Silke D. De Wolde S.D., Hulskes R.H., Weenink R.P., Hollmann M.W., Van Hulst R.A. The effects of hyperbaric oxygenation on oxidative stress, inflammation and angiogenesis // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11, No. 8. Article 1210. doi: 10.3390/biom11081210.