

О.С. Орлова, Н.Б. Павлов, Е.А. Праскурничий

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНАЦИИ В ЛЕЧЕНИИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Орлова Ольга Сергеевна, orlova.os@mail.ru

Резюме

Гипербарическая оксигенация (далее – ГБО) – метод, основанный на дыхании чистым кислородом под повышенным давлением, позволяющий уменьшить проявления гипоксии за счет доставки кислорода к органам и тканям путем его растворения в жидких средах организма. Список показаний к ГБО постоянно расширяется, а ряд исследований доказывает эффективность ее применения при различных патологических состояниях. В рамках данной статьи автор анализирует особенности использования ГБО при лечении ряда заболеваний.

Ключевые слова: гипербарическая оксигенация, гипоксия, кислород, барокамеры, терапевтические патологии

Для цитирования: Орлова О.С., Павлов Н.Б., Праскурничий Е.А. Применение гипербарической оксигенации в лечении терапевтической патологии // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2022. № 1. С. 40-44. DOI: 10.33266/2782-6430-2022-1-40-44

The Use of Hyperbaric Oxygenation in The Treatment of Therapeutic Pathologye

O.S.Orlova, N.B.Pavlov, E.A.Praskurnichiy

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Olga Orlova, orlova.os@mail.ru

Abstract

Hyperbaric oxygenation (HBO) is a method based on breathing pure oxygen under high pressure, which makes it possible to eliminate any forms of oxygen debt by delivering oxygen to organs and tissues by dissolving it in the body's liquid media. The list of indications for HBO is constantly expanding, and a number of studies prove the effectiveness of its use in the treatment of various kinds of therapeutic pathologies. Within the framework of this article, the author analyzes the features of the use of HBO in the treatment of a number of diseases.

Keywords: hyperbaric oxygenation, hypoxia, oxygen, pressure chambers, therapeutic pathologies

For citation: Orlova OS, Pavlov NB, Praskurnichiy EA. The Use of Hyperbaric Oxygenation in The Treatment of Therapeutic Pathology. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2022. 1:40-44. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2022-1-40-44

Сегодня одним из наиболее остро стоящих вопросов в рамках интенсивной терапии является вопрос применения метода гипербарической оксигенации при экстремальных состояниях. Определение способов достижения максимальной эффективности лечебной гипероксии и определение перечня показаний к ГБО остается по сей день достаточно актуальным.

К.П. Воробьевым [2] была высказана гипотеза о том, что тип патологии, степень выраженности патологического процесса, стадия заболевания, а также индивидуальные особенности организма отдельно взятого пациента, влияют на эффективность ГБО.

В целом метод ГБО представляет собой воздействие на организм гипербарической кислородной дыхательной газовой среды, что существенно меняет трансмембранный градиент парциального давления кислорода во всех звеньях дыхательной системы. При этом емкость кислорода в крови меняется незначительно – до 20-40 мл растворенного кислорода на литр крови дополнительно к нормальной физиологической емкости (200 мл/л). Тем не менее, вследствие существенного увеличения

трансмембранных градиентов парциального давления по кислороду, метаболизирующие клетки (особенно в гибернирующих тканях) перестают испытывать недостаток акцептора электронов в дыхательной цепи, что дает основание утверждать, что ГБО позволяет управлять кислородным режимом организма. К средам, обеспечивающим транспорт кислорода к клеткам, относят кровь, лимфу и тканевую жидкость. Рост кислородной емкости этих сред (сопровождающийся и являющийся следствием значительного увеличения парциального давления кислорода) является основой терапевтического эффекта ГБО [2].

Количество дополнительно растворенного в плазме O_2 при его парциальном давлении, равном 1 абсолютной атмосфере, т.е. 1 АТА (ингаляция 100% O_2 при нормальном атмосферном давлении), составляет в среднем 2 об. %. С повышением давления в барокамере во время сеанса ГБО на каждую избыточную атмосферу содержание плазменного O_2 увеличивается на 2,3 об. %. Так, при избыточном давлении в барокамере в 1,5-2 АТА содержание кислорода в плазме составляет 4,34 об. %, а парци-

альное давление кислорода возрастает до 1000-1400 мм рт. ст. Градиент парциального давления реализуется за счет растворенного в плазме кислорода. Заместительное действие гипербарического кислорода обеспечивается за счет диффузии в межклеточную жидкость и лимфу, которая происходит благодаря значительному повышению напряжения кислорода в плазме крови [2].

Стоит обратить внимание, что метод ГБО имеет ряд преимуществ перед обычной кислородной терапией. Рассмотрим их более подробно на рис. 1.

Обозначим также виды действия гипербарической оксигенации. Отообразим их на рис. 2.

Как отмечает ряд исследователей, та практика ГБО, существовавшая ранее и основывающаяся на показаниях и дозах гипероксии исходя из диагнозов, на данный момент вступила в конфликт с нынешним уровнем знаний. Все это приводит к тому, что следует разрабатывать новые стратегии и тактики применения данного метода в лечении терапевтической патологии.

Новый подход применения ГБО должен основываться на определенной клинической ситуации. Для того, чтобы данный метод оказал помощь в лечении, следует перед его применением ответить на ряд вопросов, в числе которых в первую очередь, наличие показаний к применению ГБО, прогноз возможных патогенных эффектов и пр. [3].

На рис. 3 представим показания к ГБО в терапии согласно мирового опыта.

Метод гипербарической оксигенации является универсальным, так как может оказывать влияние на типовые механизмы патологии, проявляющиеся практически при любой нозологической форме, сопровождающейся гипоксией.

Однако последствия применения ГБО могут быть, как положительными, так и негативными. К последним относят токсическое действие. Оно является прямым следствием роста количества активных форм кислорода, которое не было компенсировано повышением активности антиоксидантной системы. Для тех пациентов, которые находятся в критическом состоянии и их антиоксидантная система истощена, это особенно важно.

Если у пациента в анамнезе есть указание на развитие судорожных состояний, недренированных полостей в легких; пациент страдает клаустрофо-

бией, его гемодинамика нестабильна, а евстахиевые трубы и каналы имеют нарушения проходимости, то применение для лечения метода ГБО относительно противопоказано.

С другой стороны, при наличии абсолютных жизненных показаний к ГБО возможно устранить большую часть противопоказаний. К примеру, при нестабильной гемодинамике можно ввести кардиотонические препараты, а если имеет место судорожная готовность, то необходимо использовать седативные препараты.

Сегодня отделения гипербарической оксигенации укомплектованы в основном отечественными бароаппаратами БЛКС-303МК и БЛКС-307 «Хруничев». Серьезным препятствием к проведению ГБО у пациентов, нуждающихся в респираторной поддержке, было отсутствие в ныне эксплуатируемых бароаппаратах системы ИВЛ, поэтому промышленностью выпускаются кислородные барокамеры, позволяющие осуществлять искусственную вентиляцию легких и мониторинг основных функций организма непосредственно в барокамере во время сеанса ГБО («Sec-hrist»), система ИВЛ разработана для отечественных барокамер типа БЛКС. Доступность визуального контроля состояния пациента обеспечивается за счет конструктивных особенностей бароаппарата.

Подготовка к ГБО является одним из факторов эффективности лечебной гипероксии. Состояния декомпенсированной гипо- или гиперволемии наверняка ухудшат результаты лечения гипербарическим кислородом, повысят вероятность патогенных эффектов ГБО. Это связано с тем, что гемодинамическое звено является главным фактором антигиперок-

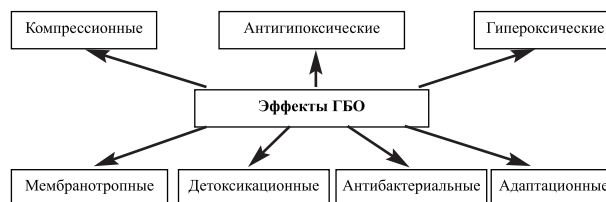


Рис. 2. Эффекты ГБО

Fig. 2. Effects of HBO

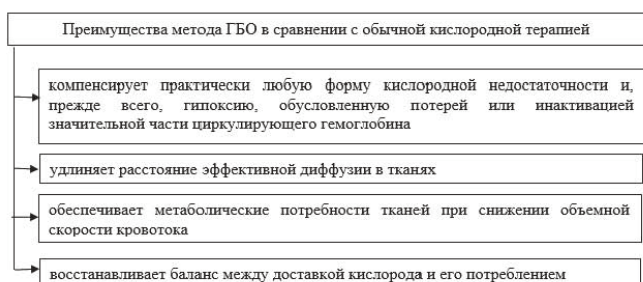


Рис. 1. Преимущества метода ГБО в сравнении с обычной кислородной терапией

Fig1. Advantages of the HBO method in comparison with conventional oxygen therapy

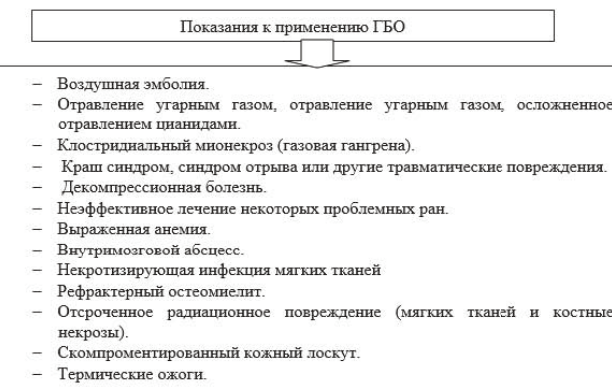


Рис. 3. Показания к применению ГБО в терапии

Fig. 3. Indications for the use of HBO in therapy

сической защиты. Дисрегуляция при волевических нарушениях может привести к неконтролируемой гипероксии и кислородному повреждению тканей.

Оценка состояния пациента является важной при проведении сеанса ГБО. Уточнению подлежат наличие продолжающихся кровотечений, исключение наличия воздухосодержащих полостей в легких. В том случае, когда все в норме, следует обязательно провести инструктаж по поведению в барокамере.

Постоянное наблюдение за пациентом и динамикой его клинико-физиологических параметров является обязательным при проведении сеанса ГБО. О благоприятном действии ГБО будет говорить отсутствие двигательного беспокойства, урежение пульса и дыхания, восстановление естественного цвета кожи и слизистых, а также нормализация ЭКГ. Если же сердцебиение и дыхание учащаются, то это говорит о том, что ГБО имеет отрицательное влияние.

Боли в ушах также могут возникать у пациентов в начале компрессии. В этих случаях снижение давления, а затем вновь его увеличение обычно позволяет пройти «болевого барьер» и выполнить сеанс в расчётном режиме.

Правильный выбор режимов, их последовательность и периодичность – это обязательные условия достижения наиболее эффективного лечебного эффекта. Индивидуальность – это основное требование при выборе режимов для терапии пациентов. В современной гипербарической медицине абсолютное давление до 3,0 АТА используется достаточно редко. Чаще всего средний уровень давления должен находиться в пределах нормы 1,3-2,0 АТА [2].

В основном частота проведения таких процедур составляет раз в сутки, если же клинически доказано необходимость более частого проведения, то их в дальнейшем все равно уменьшают до тех пор, пока у пациента не будет наблюдаться улучшение состояния. 8-10 ежедневных сеансов – это полный курс ГБО, который назначается пациентам. Иногда даже 4-5 сеансов будет достаточно для эффективного лечения, а встречаются случаи, когда есть необходимость в проведении курса из 30 сеансов.

Персонал кабинета ГБО чаще всего работает самостоятельно, присутствие врача-реаниматолога необходимо тогда, если в проведении сеанса нуждается реанимационный больной.

При проведении ГБО необходимо динамическое наблюдение за пациентом с целью своевременного выявления обстоятельств, препятствующих продолжению сеанса. Диагностические значения мониторируемых параметров и критерии прекращения сеанса ГБО представлены в табл. 1.

На рис. 4 представим алгоритм проведения ГБО пациентам, находящимся в критическом состоянии.

Вегетативная стабильность является одним из важнейших факторов эффективной баротерапии. Ее можно достичь при контроле эмоционального состояния больного, а также при правильном выборе времени использования ГБО в рамках комплексного лечения.

Также важным фактором эффективности оксигенобаротерапии будет сочетание применения ГБО с определенной фармакотерапией. Для этого следует

обладать информацией относительно модулирования деятельности тех или иных препаратов во время ГБО. Все эти вопросы на данный момент изучены не достаточно хорошо, исходя из чего целесообразно применять ГБО на фоне относительного «фармакологического покоя».

Сочетание с другими методами оксигеназной терапии также один из факторов эффективности ГБО. Среди таких: лазерная и ультрафиолетовая фотомодификация крови, озонотерапия, электрохимическое окисление крови. Активация оксигеназных реакций – это общая точка всех этих методов, но нужно понимать, что их сочетание с ГБО в короткий временной промежуток может привести к истощению ферментативного звена антиоксидантной защиты организма и патогенным эффектам ГБО.

Далее рассмотрим несколько примеров патологий, при которых рекомендуется использование ГБО.

К примеру, если у пациента острые гастродуоденальные кровотечения, то применение ГБО в их лечении будет способствовать более быстрой стабилизации гемодинамики и корректировать тканевые проявления низкого сердечного выброса. Снижение количества осложнений при использовании данного метода наблюдается и в послеоперационном периоде у таких пациентов. Необходимость в переливании крови в этом случае будет снижаться и темп прироста гемоглобина повышаться, что способствует более быстрому заживлению язвенного дефекта.

При различных формах панкреатита применение ГБО также показывает положительные результаты. Болевой синдром при отечной форме проходит быстрее, а панкреатическая клетчатка вовлекается на-

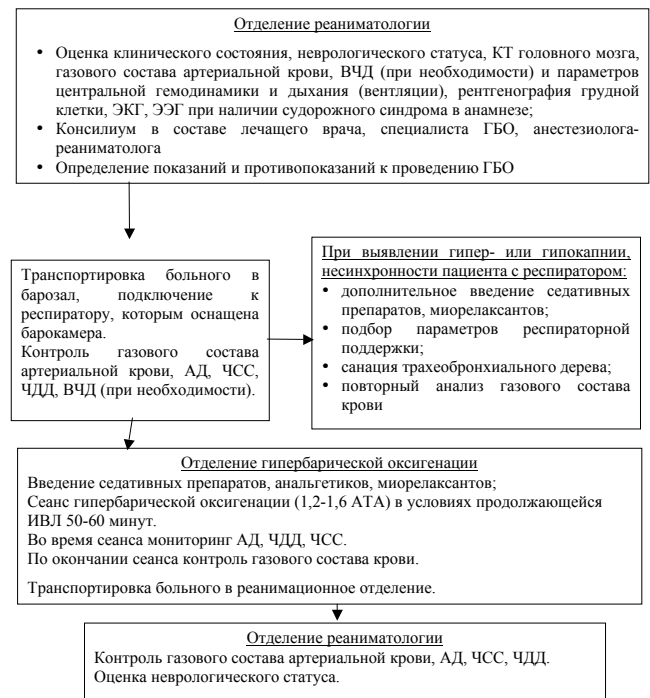


Рис. 4. Алгоритм проведения ГБО пациентам, находящимся в критическом состоянии

Fig. 4. Algorithm of HBO for patients in critical condition

Таблица 1

Диагностические значения мониторируемых параметров и критерии прекращения сеанса ГБО
Diagnostic values of monitored parameters and criteria for termination of the HBO session

№	Раздел мониторинга	Диапазон допустимых значений	Метод регистрации	Сигналы прекращения сеанса* при проведении ГБО
Обязательные модальности				
1	Уровень сознания или седации	Шкала RASS =[-5; 2] Состояние пациента, не требующее назначения дополнительной седации и/или нейролепсии («спокойный пациент»).	Клинический мониторинг	Снижение уровня сознания на 1 и более баллов или повышение потребности в седации (в том числе и для синхронизации с аппаратом ИВЛ)
2	Неврологический статус	Отсутствие отрицательной динамики во время сеанса ГБО	Клинический мониторинг или КТ исследование головного мозга	Признаки нарастания неврологического дефицита увеличение объема гематомы по данным КТ перед сеансом ГБО
3	Болевой статус	Ноль по шкале болевого поведения BPS или 0 по шкале ВАШ	Клинический мониторинг	Нарастание болевого синдрома
4	Статус вегетативной нервной системы	Отсутствие клинических признаков дисфункции	Повышение потоотделения; изменение цвета кожных покровов лица	
5	Систолическое давление (САД)	>90; <180 мм рт. ст.	Неинвазивный аппаратный мониторинг с измерением на каждом этапе сеанса ГБО	Повышение потребности в вазопрессорной поддержке или артериальная гипертензия
6	Диастолическое давление (ДАД)	<80 мм рт.ст.		Снижение или повышение САД на 20 мм рт.ст.
7	Среднее артериальное давление	>60 мм рт.ст.		Снижение или повышение ДАД на 20 и более мм рт.ст. от исходного уровня Снижение среднего АД на 20 мм рт.ст.
8	ЭКГ	Отсутствие признаков коронарного синдрома	ЭКГ мониторинг	Депрессия или подъём зубца ST, отрицательные или нарастающие зубцы T
9	Сердечный ритм	Синусовый ритм или постоянная форма аритмии		Остро возникшая аритмия
10	Предельные дозы инотропных препаратов	Дофамин ≤ 5мкг/кг/мин Норадреналин ≤ 0,1 мкг/кг/мин		Увеличение потребности
11	Частота сердечных сокращений (ЧСС)	>50; <110-120	Неинвазивный аппаратный или клинический мониторинг	Бради- или тахикардия
12	Дефицит пульса		Пульсоксиметр/ ЭКГ	Нарастание
13	Частота дыхания (ЧДД)	>10; ≤30	Неинвазивный аппаратный или клинический мониторинг	Бради- или тахипноэ
14	Аксиллярная температура	>36,0; <38,5°C	Термометрия	Нарастание гипертермии после ГБО
15	Волемический статус	Гематокрит > 30, гемоглобин >70 г/л, общий белок>55 г/л	Гематологический тест клинический тест	Признаки гиповолемии и/или гипопротеинемии
Дополнительные модальности				
1	Церебральное перфузионное давление (ЦПД)	> 60 мм рт.ст.	Инвазивный или неинвазивный мониторинг	Гиперперфузия
2	Внутричерепное давление (ВЧД)	< 25 мм рт.ст.	Инвазивный или неинвазивный мониторинг	Нарастание ВЧД более 25 мм рт. ст.
Дополнительные модальности для пациентов на ИВЛ				
1	Синхронность с ИВЛ	Синхронность	Клиническое наблюдение	Десинхронизация
2	Показатель (рН)	< 7,37 > 7,44	Газоанализатор	Нарастание нарушений кислотно-основного баланса
3	Показатель парциального напряжения углекислого газа в артериальной крови (PaCO ₂)	< 40 мм рт.ст.	Газоанализатор	Нарастание гиперкапнии
4	Положительное давление в конце выдоха (РЕЕР)	≤ 10 см H ₂ O	Монитор аппарата ИВЛ	Возрастание

много реже. В данном случае метод ГБО при лечении делает течение заболевания более благоприятным, а также влияет на профилактику гнойно-септических осложнений.

Если у пациента на послеоперационном этапе диагностировали кишечную непроходимость, то сеансы ГБО, в комплексе с другим лечением приводят к регрессу клинико-рентгенологической симптоматики. Отмечается в ряде случаев разрешение непроходимости, что зависит непосредственно от степени выраженности механического компонента и глубины имеющихся нарушений. Показан выраженный дезинтоксикационный эффект гипербарического кислорода, определены сроки включения ГБО в комплексное лечение кишечной непроходимости и продемонстрировано профилактическое значение метода в плане развития послеоперационных осложнений [4].

Лечение следует начинать в течении первых часов данного заболевания, сеансы общей сложностью 5-10, должны проходить ежедневно, лечебный режим 1,6-2,0 АТА. Адекватное использование ГБО в комплексе при профилактике и лечении заболеваний пищевода позволяет повышать эффективность лечения и препятствовать развитию осложнений на ранних сроках заболевания.

Применение ГБО зарекомендовало себя также и при лечении COVID-19. Необходимость респираторной поддержки возникает у 15-20% пациентов тяжелой и крайне тяжелой степени с острой респираторной инфекцией COVID-19, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2 (2019-nCov). В условиях пандемии одной из первых задач, которые пытались решить, стал поиск адекватных методов оксигенации, который бы способствовал не только ликвидации гипоксии и гипоксемии, но также мог бы спо-

собствовать снижению риска перевода пациента на инвазивную ИВЛ [1]. Все эти требования восполняет метод ГБО [5].

В связи с тем, что при COVID-19 патофизиология пневмонии отличается от ее классического проявления, были выдвинуты предположения об эффективности ГБО в данном случае. Широкий спектр воздействия на организм человека данного метода привел к тому, что его стали включать в комплексную терапию пациентов с COVID-19 [5].

При COVID-19 ГБО-терапия может быть эффективна в отношении снижения уровня цитокинов (TNF-α, IL-1β, IL-6), то есть минимизации степени «цитокинового шторма», и выраженности окислительного стресса, а также улучшения капиллярной пролиферации и ускорения включения коллатерального кровотока.

Таким образом существующая практика использования ГБО вступила в противоречие с новыми данными о биологическом значении кислорода и эмпирическими результатами лечебной гипероксии. Список показаний к ГБО постоянно расширяется, в частности, международное общество Подводной и Гипербарической медицины (UHMS) называет ГБО методом лечения при 14 различных заболеваниях и синдромах, в том числе при нарушениях регионального кровоснабжения, инфекции мягких тканей, тканевой ишемии и т.д.

Основная задача тактики ГБО заключается в определении оптимальной индивидуальной дозы ГБО на протяжении сеанса и курса оксигенобаротерапии. Объективные функциональные характеристики реактивности к гипероксии во время ГБО позволяют определить наиболее благоприятные режимы и предвестники патогенных эффектов гипербарического кислорода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Henry B.M., Lippi G. Poor Survival with Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Due to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Pooled Analysis of Early Reports // J. Crit. Care. 2020. No. 58. P. 27–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.03.011>.
 2. Акалаев Р.Н. Гипербарическая медицина: история становления и путь развития / Под ред. Акалаева Р.Н., Борисовой Е.М. // Вестник экстренной медицины. 2014. № 1. С. 85-94.

4. Лакотко Т.Г., Корнелюк Д.Г. Возможности применения гипербарической оксигенации при заболеваниях пищевода (обзор) / Под ред. Лакотко Т.Г. // Гепатология и гастроэнтерология. 2017. № 2. С. 198-199.
 5. Левина О.А. и др. Безопасность применения гипербарической оксигенации при лечении Covid-19 / Под ред. Левиной О.А., Евсеева А.К. // Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». 2020. Т.9, № 3. С. 314-320.

REFERENCES

1. Henry B.M., Lippi G. Poor Survival with Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Due to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Pooled Analysis of Early Reports. J. Crit. Care. 2020;58:27–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.03.011>.
 2. Akalayev R.N. Hyperbaric Medicine: the History of Formation and the Path of Development. Ed. Akalayev R.N., Borisova Ye.M. Vestnik ekstreynoy meditsiny = The Bulletin of Emergency Medicine. 2014;1:85-94 (In Russ.).

4. Lakotko T.G., Kornelyuk D.G. Potentials of Hyperbaric Oxygenation in Oesophageal Diseases (Review). Ed. Lakotko T.G. Gepatologiya i gastroenterologiya = Hepatology and Gastroenterology. 2017;2:198-199 (In Russ.).
 5. Levina O.A., et al. The Safety of Hyperbaric Oxygen Therapy in the Treatment of COVID-19. Ed. Levina O.A., Yevseyev A.K. Zhurnal Im. N. V. Sklifosovskogo Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch = Russian Sklifosovsky Journal of "Emergency Medical Care". 2020;9;3: 314-320 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.01.2022. Принята к публикации: 01.02.2022.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 20.01.2022. Accepted for publication: 01.02.2022