

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК: 614.8.08:613.6.027:614.8.067:616.12-008.1:001.891.57

НОРМАТИВЫ КОМПРЕССИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ И КРИТИЧЕСКИЕ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ВЫЖИВАЕМОСТИ КАК ПРЕДИКТОРЫ КАЧЕСТВА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ В НЕВЕСОМОСТИ: ИСПЫТАНИЯ МЕТОДОВ НЕПРЯМОГО МАССАЖА СЕРДЦА В ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

А.В. Поляков, Ю.А. Бубеев, В.М. Усов

Канд. мед. наук А.В. Поляков; докт. мед. наук, проф. Ю.А. Бубеев;
докт. мед. наук, проф. В.М. Усов (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

Сохранение здоровья экипажа является одной из центральных проблем обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов. На этапе их проектирования для экипажа разрабатываются рекомендации по экстренному реагированию на неотложные состояния, включая одно из самых неблагоприятных по выживаемости – внезапную остановку кровообращения (ВОК). Для спасения пострадавшего после ВОК, как свидетельствует опыт первой помощи на Земле, необходимо своевременное проведение сердечно-легочной реанимации (СЛР). Из этого следует актуальность обоснования правомерности применения наземных рекомендаций по базовой СЛР к условиям микрогравитации (при орбитальных полетах и перелетах к Луне). В работе поставлена цель обобщить литературные сведения по вопросам оказания первой помощи в начальной фазе наступления острых нарушений жизненно важных функций после ВОК и предикторов риска снижения качества СЛР в невесомости, выявленных при испытаниях в параболических полетах. Данные литературы о результатах испытаний методов непрямого массажа сердца (НМС) в условиях параболических полетов свидетельствуют, что только часть ограничений по критическим временным интервалам выживаемости (КВИВ) может быть проверена за 20–25 сек имитации невесомости. При этом большая часть альтернативных приемов ручной компрессии грудной клетки (КГК), специально разработанных для невесомости не позволяет достичь качества НМС, сопоставимого с рекомендованными наземными нормативами. Решение данной проблемы может состоять в применении механических средств наружной компрессии и аппаратов наружной дефибрилляции (АНД), экстренное задействование которых возможно осуществить за период проведения ручной КГК. На основании анализа литературы можно сказать, что наземные испытания

в условиях искусственной гравитации необходимы для достижения консенсуса специалистов относительно рекомендуемой первой помощи в медицинских нештатных ситуациях (НшС) в пилотируемых космических полетах.

Ключевые слова: неотложные состояния, внезапная остановка кровообращения, базовая сердечно-легочная реанимация, непрямой массаж сердца, ручная и автоматическая компрессия грудной клетки, автоматическая дефибрилляция, параболические полеты, микрогравитация

Standards of Chest Compression and Critical Survival Time Intervals as Predictors of Cardiopulmonary Resuscitation Quality in Zero Gravity: Tests of Indirect Cardiac Massage Methods in Parabolic Flights. A.V. Polyakov, Yu.A. Bubeev, V.M. Usov

Maintaining the crew's health is one of the central challenges in ensuring the safety of manned space missions. At the stage of designing them, it is necessary to provide the crew with guidelines for emergency response to life-threatening conditions, including the Sudden Cardiac Arrest (SCA), which is one of the most adverse for survival. According to the pre-clinical experience of first aid on Earth, timely Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) is crucial for saving a victim after SCA. This implies the relevance of substantiating the legitimacy of transferring ground-based recommendations for basic CPR relating to microgravity conditions (during orbital flights and flights to the Moon). The paper aims to summarize the literature on the issues of emergency first aid in the initial phase of acute disorders of vital functions after SCA and to identify predictors of the risk of reducing the quality of CPR in conditions of microgravity, as identified during test findings in parabolic flights. An analysis of the literature data on the results of tests findings of External Cardiac Massage (ECM) methods in parabolic flights shows that only part of the restrictions on Critical Survival Time Intervals (CSTI) can be checked during 20–25 seconds of simulated weightlessness. At the same time, the most alternative methods of Manual Chest Compression (MCC), specially developed for using under weightlessness conditions do not provide ECM quality comparable with ground-based standards. To tackle the problem may be the use of mechanical external compression devices and automated external defibrillators (AEDs) that can be urgently enabled during manual chest compression. An analysis of the literature shows that ground-based tests under conditions of artificial gravity are necessary to reach a consensus on recommended first aid in emergency situations in manned spaceflight missions.

Keywords: emergency, sudden cardiac arrest, basic cardiopulmonary resuscitation, manual and automatic chest compressions, automatic defibrillation, parabolic flights, microgravity

В системе медицинского обеспечения, сложившейся в ходе выполнения орбитальных пилотируемых полетов, в числе основных задач предусмотрено оказание медицинской помощи при возникновении медицинских НшС, включая экстренное реагирование на жизнеугрожающие состояния. Для определенного числа случаев разработаны варианты экстренного завершения полета и выполнения поиска и спасания космонавтов после приземления

спускаемого аппарата с последующей транспортировкой в медицинские учреждения. Однако по ряду причин прямой перенос в практику межпланетных миссий ранее наработанных методов медицинского обеспечения орбитальных проектов ограничен.

При разработке проектов медицинского обеспечения экипажей межпланетных миссий, в том числе при перелетах к Луне, актуальны вопросы: каким образом обеспечить первую помощь пострадавшему космонавту при возникновении непосредственной угрозы жизни и здоровью. Речь, в частности, идет о состояниях с выраженными нарушениями функций жизненно важных систем организма при ВОК, первая помощь при которых регламентирована рядом нормативных документов^{1, 2, 3}.

Наличие прямых угроз безопасности космической миссии, связанных с риском жизнеугрожающих ситуаций, повышает актуальность обобщения: 1) литературных данных по первой помощи после ВОК вне клиники; 2) экспериментальных данных имитационного моделирования измененных условий гравитации с испытаниями способов НМС в системе мероприятий базовой СЛР.

Настоящее исследование направлено на изучение литературных данных об испытаниях в условиях параболических полетов способов оказания первой помощи в жизнеугрожающем состоянии после ВОК и возможности экстренного выполнения КГК как первой фазы СЛР. Особое внимание уделено вопросам нормативов выполнения НМС с требуемым качеством КГК с учетом КВИВ, рассматриваемых в числе основных предикторов снижения результативности СЛР.

На основе выполненного анализа предпринята попытка оценить готовность к реализации качественной СЛР в условиях микрогравитации с использованием метода имитационного наземного моделирования – создание условий кратковременной невесомости в параболических полетах.

В основном разделе обзора в первой части рассматриваются рекомендации экспертного сообщества по СЛР, в частности по НМС в острой начальной стадии. Результативность НМС в значительной степени влияет на исход выживаемости и неврологические последствия. Выделяются признаки качества КГК с учетом КВИВ, значимых для выживания пострадавшего в условиях наземной первой помощи, что позволяет целенаправленно подходить

¹ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 03.05.2024 № 220н «Об утверждении Порядка оказания первой помощи». – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=208762> (дата обращения 26.11.2025).

² Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (ред. от 23.07.2025). – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=502040> (дата обращения 26.11.2025).

³ Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 4 мая 2012 г. N 477н «Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405310015> (дата обращения 26.11.2025).

к обобщению опыта испытаний методов НМС в условиях моделирования микрогравитации в параболических полетах.

Вторая часть посвящена выявлению компонентов человеческого фактора, связанных с предикторами снижения результативности СЛР в условиях моделирования микрогравитации.

Понимание сложностей разработки требований к базовой СЛР в условиях измененной гравитации дает основание на использование существующих наземных рекомендаций в отношении применения автоматизированных средств наружной КГК на основе организационно-тактических решений совмещения ручного и механического способов КГК.

Третья часть содержит данные о решениях и реальных прототипах механических устройств компрессии, испытанных в параболических полетах и в наземной практике при оказании первой помощи после ВОК.

Опыт первой помощи пострадавшему после ВОК в наземных условиях и риски снижения ее результативности при отклонении от рекомендуемых протоколов базовой СЛР

Критические интервалы при ВОК при проведении базовой СЛР и нормативные значения показателей качества ручной КГК

В острой фазе расстройств (с первых минут ВОК) необходимо экстренно проводить СЛР, которая на сегодня является безальтернативным способом спасения пострадавшего. Одно из определений СЛР дано в работе [1], посвященной обзору проблем медицины в условиях космического полета. Согласно этой публикации, СЛР – это экстренное вмешательство на основе НМС, используемое для экстренного поддержания кровообращения и насыщения крови кислородом в случае резкого снижения сердечного выброса.

Применительно к наземным условиям существуют ежегодно обновляемые экспертным сообществом рекомендуемые протоколы базовой и расширенной СЛР после ВОК, которые отражены во многих национальных руководствах [2–4].

Существующие значимые ограничения резерва времени для СЛР в отношении сохранения жизнеспособности пострадавшего человека (или сроков наступления преждевременной гибели организма) необходимо принимать во внимание во всех условиях выполнения мероприятий СЛР, о чем свидетельствуют данные результативности СЛР, полученные на начальном этапе наземной первой помощи. Группа предикторов утраты жизнеспособности, названная КВИВ, отражает объективно существующие временные закономерности протекания биологических и патологических процессов в условиях нарушения кровоснабжения жизненно важных систем организма. В ходе клинических, патофизиологических и физиологических исследований

установлены граничные временные условия сохранения жизнеспособности организма, сохранения церебрального кровотока без повреждения функций головного мозга, а также закономерности снижения процента выживших лиц при отклонениях от протоколов базовой СЛР, учтенных в руководствах по СЛР [3, 4].

Это означает, что «окно возможностей», для того чтобы предупредить дополнительное ишемическое повреждение головного мозга во время отсутствия КГК и/или неоптимальной КГК, имеет узкие временные рамки. Остановка сердца приводит к прекращению как сердечного выброса, так и доставки кислорода ко всем жизненно важным органам. Эта фаза отсутствия кровотока начинается с момента остановки сердца и длится до тех пор, пока не будет достигнута частичная реперфузия с помощью СЛР.

Согласно исследованию [5] повреждение головного мозга является наиболее частой причиной инвалидности и смертности после ВОК. Это связано с рядом сложных механизмов, запускаемых как ишемией, так и реперфузией во время и после СЛР.

С восстановлением спонтанного кровообращения (ВСК) кровотоков мозга восстанавливается, но реперфузия ишемического цереброваскулярного русла также запускает ряд патогенетических механизмов, приводящих к вторичному повреждению мозга [5]. Этот механизм значим для оценки манипуляций НМС, которые не достигают рекомендуемых величин по частоте и глубине КГК. В работе [6] показано, что при начале СЛР кровотоков мозга частично восстанавливается, но он остается неоптимальным для поддержания нейронной целостности, поскольку СЛР методом НМС генерирует приблизительно 25 % нормального кровотока мозга, что существенно ниже 40÷50 % нормального кровотока мозга, необходимого для поддержания клеточной целостности и предотвращения дополнительного ишемического повреждения.

При отсутствии самостоятельного дыхания и остановке кровообращения в условиях нормотермии через 3–5 мин происходит необратимая потеря функций коры головного мозга человека [7]. Резерв времени на оценку витальных функций пострадавшего при остановке сердца составляет, согласно цитируемой работе [7] не более 10 сек (в некоторых источниках указывается большее значение – до 20 сек).

Из работы [7] в табл. 1 приводятся сравнительные данные о времени повреждении разных отделов мозга при остром нарушении кровоснабжения.

Таблица 1

Выживаемость отделов центральной нервной системы при аноксии

Отдел мозга	Время, мин
Кора больших полушарий	4÷5
Центры глазных рефлексов	5÷10
Центры регуляции сердца и сосудов	15÷30
Дыхательные центры	> 30

Исходя из этих данных, необходимо оценивать резерв времени до начала первой помощи пострадавшему после ВОК.

При выполнении СЛР мозговой кровоток должен быть не менее 50 % от нормы для восстановления сознания и не менее 20 % от нормы для поддержания жизнеспособности клеток [3]. Также в данной работе уточняется, что начинать отсчет времени необходимо не от начала проведения СЛР, а только с того момента, когда она перестала быть эффективной, то есть через 30 мин полного отсутствия любой электрической активности сердца, полного отсутствия сознания и спонтанного дыхания.

Обобщая данные из цитированных источников, рекомендации, связанные с учетом КВИВ при СЛР, можно представить следующим списком:

1. От момента первых признаков клинической смерти до начала СЛР должно пройти не более 2–3 десятков секунд.

2. Реанимационные действия должны начинаться не позднее 4 мин после остановки кровообращения и продолжаться вплоть до его восстановления и появления спонтанной сердечной деятельности. Промедление более 5 мин приводит к необратимым последствиям для жизнеспособности головного мозга из-за острой гипоксии и нарушений обмена веществ, а близкие значения к критическим 5 мин – к высокому риску тяжелых неврологических последствий.

3. Вынужденный перерыв между компрессиями (надавливаниями на грудину) не должен превышать 10 сек по любой причине.

4. При остановке в процессе компрессии более чем на 2–3 сек, цикл следует начинать заново сначала (то есть выполнять полный цикл из 30 нажатий между вдохами).

5. Интервал между вдохами при проведении искусственной вентиляции легких должен составлять 4–5 сек.

6. Проведение СЛР прекращается в случае признания этих мер абсолютно бесперспективными или констатации биологической смерти, а именно:

– при констатации смерти человека на основании смерти головного мозга, в том числе на фоне неэффективного применения полного комплекса мероприятий, направленного на поддержание жизни;

– при неэффективности реанимационных мероприятий, направленных на восстановление жизненно важных функций в течение 30 мин ⁴.

Нормативные значения показателей качества ручной КГК при проведении базовой СЛР

Имеются многочисленные свидетельства о том, что выполняемая, согласно рекомендациям экспертного сообщества, ручная КГК позволяет поддерживать малый, но достаточно эффективный для сохранения жизнеспособности

⁴ Приказ Минздрава РФ от 4 марта 2003 г. N 73 «Об утверждении Инструкции по определению критериев и порядка определения момента смерти человека, прекращения реанимационных мероприятий» // Правовой портал «Гарант». – URL: <https://base.garant.ru/4179063/?ysclid=mhg4p9841o354633776> (дата обращения 26.11.2025).

кровоток в сосудах головного мозга. В большинстве исследовательских работ и учебно-методических материалов симуляционного обучения СЛР приводятся данные о том, что критические значения времени начала КГК, допустимой длительности по времени перерывов (и их количества), минимальной длительности проведения непрерывной компрессии и некоторые другие должны быть заданы в качестве лимитирующих факторов для проведения сердечно-легочной и церебральной реанимации чрезвычайно жестко.

Речь в цитированных рекомендациях идет о критически значимом в отношении прогноза выживания НМС. Безусловное требование рекомендаций состоит в том, что только неотложное начало выполнения НМС может способствовать повышению шансов выживания пострадавших.

Также к значимым факторам риска относятся ошибки выполнения ручной КГК (по частоте, скорости, синхронности с приемами вдоха при проведении искусственной вентиляции легких и др.), которые значимо сужают диапазон возможностей и снижают шансы благополучного исхода и прогноза для пострадавшего.

Согласно актуальным рекомендациям экспертного сообщества при НМС восстановление кровообращения достигается путем ритмичных КГК (без перерывов) надлежащей частоты (100–110 нажатий в минуту) и глубины (экскурсии грудной клетки 5–6 см) при оптимальном соотношении (1:30) компрессий и приемов вдоха искусственного дыхания для восстановления легочной вентиляции. При большей глубине (> 6 см) возрастает риск травмирования (поломки ребер и/или грудины), при меньшей частоте и глубине нажатий не обеспечивается достаточный уровень кровотока в магистральных кровеносных сосудах.

Детальное изложение техники ручной КГК и ее обоснование приводится в большом числе литературных источников и учебных медицинских пособий, в частности развернутый анализ содержится в работе [8].

Далее по тексту эти рекомендации для наземных условий принимаются как база сравнения для всех предлагаемых экспериментальных модификаций в интересах адаптации к невесомости.

Дополнительные значимые рекомендации относятся к выбору стандартной позы спасателя, технике КГК и кинематике тела спасателя.

В наземных условиях считаются обязательными следующие основные рекомендации и типовые приемы НМС:

- 1) НМС проводится путем надавливания на грудную клетку обеими руками, основанием ладони нижней кисти, прижимая друг к другу пальцы верхней;
- 2) плечи должны находиться над сомкнутыми руками;
- 3) давление необходимо производить не сгибая руки в локтях, чтобы полностью использовать вес верхней половины тела спасателя;
- 4) максимальное сдавливание должно приходиться на нижнюю треть грудины, выше мечевидного отростка на два поперечных пальца в центре грудины.

Перечисленные требования вытекают из физиолого-анатомических особенностей строения кровеносной системы человека и топологических взаимоотношений положения сердца и магистральных сосудов в грудной клетке между грудиной и позвоночником. При сдавливании сердца между позвоночником и грудиной происходит опорожнение камер сердца в магистральные сосуды (аорта и легочный ствол) с последующим заполнением правых и левых камер сердца кровью из венозного русла малого и большого кругов кровообращения в фазу отсутствия сдавливания грудной клетки при ее расправлении после каждой компрессии.

Суммируя вышесказанное, можно констатировать, что на сегодняшний день экспертным сообществом представлены проверенные в ходе обширной медицинской практики и при симуляционном обучении СЛР сочетания реанимационных воздействий, которые направлены на снижение негативных последствий ВОК, в то время как отклонения (как вынужденные, так и в связи с влиянием человеческих факторов) от рекомендованных протоколов значимо ухудшают показатели выживаемости и прогноз отдаленных последствий СЛР.

При адаптации перечисленных типовых рекомендаций к новым условиям необходимо проводить изучение рисков в отношении обеспечения качества НМС, используя в качестве предикторов риска снижения качества СЛР две группы показателей: КГК и КВИВ.

Человеческий фактор, связанный с предикторами снижения результативности СЛР в условиях моделирования микрогравитации

Современное состояние исследования проблемы СЛР по результатам испытаний в условиях микрогравитации в параболических полетах

Характеристику современных достижений в области разработки методов СЛР применительно к условиям микрогравитации можно найти в ряде обзоров [9–13].

Методическая направленность этих исследований свидетельствует, что их авторы рассматривают в качестве исходной базы актуальные наземные рекомендации и протоколы СЛР, но при этом предлагают учитывать ограничения и риски космических полетов для поиска необходимых коррекций.

В исследовании [9] констатируется, что ВОК является критическим состоянием с высокой ожидаемой смертностью. В космическом полете ВОК может привести к смерти пострадавшего члена экипажа и тем самым поставить под угрозу миссию. На основе обзора многочисленных экспериментов в моделируемых условиях микрогравитации в цитируемой работе сделан вывод о наличии свидетельств об осуществимости СЛР при применении ряда

новых способов КГК, в то время как по многим другим аспектам СЛР, таким как дефибрилляция, медикаментозная терапия или постреанимационный уход, литературные данные остаются ограниченными.

Среди литературных обзоров обращает на себя внимание содержание работы [10], которая отражает позицию специалистов Немецкого общества аэрокосмической медицины (DGLRM) и Европейского общества аэрокосмической медицины (ESAM-SMG) по вопросам СЛР в условиях микро- и гипогравитации.

В ней авторы предприняли попытку систематизировать сведения о современных достижениях в области разработки и применения методов СЛР с анализом текущего состояния исследований СЛР в условиях микрогравитации. Авторы цитируемого источника [10] признают, что БОК во время космического полета на данный момент является крайне маловероятным сценарием и, кроме того, у специалистов отсутствует реальный практический опыт, поскольку это событие раньше в орбитальных полетах не встречалось. Однако постоянно ведутся исследования для обоснования внесения изменений в рекомендации для условий космических полетов. В частности, в цитируемой работе [10] проанализированы предложенные для условий микрогравитации способы СЛР и констатируется, что большинство из ранее выполненных исследований были сосредоточены на применении КГК в условиях моделируемой невесомости в параболических полетах.

Основополагающими выводами цитируемого обзора являются: СЛР в условиях невесомости должна применяться в соответствии с основными положениями консенсуса по протоколам СЛР в наземных условиях, таким как срочное распознавание и начало воздействий, акцент на высококачественном НМС, выдерживании частоты и глубины КГК и соотношений частоты компрессии и вентиляции. Для выполнения других вопросов, относящихся к приемам моторных действий спасателей, базовая СЛР в условиях микрогравитации космического полета признается осуществимой с уточнением и внесением определенных изменений в технику выполнения НМС.

Главными позициями анализа являются:

- 1) взаимное положение спасателя и пострадавшего, отличающееся от стандартного на Земле;
- 2) альтернативные приемы КГК, отличные по кинематике моторных действий спасателя, участию нескольких спасателей в выполнении компрессии и месту приложения компрессии;
- 3) участие в СЛР других членов экипажа как при непосредственном выполнении ручной КГК, так и оказании помощи исполнителю для удержания позы и приложения усилия;
- 4) использование специальных вспомогательных устройств для экипажа – медицинской системы удержания и фиксации (англ.: *Crew Medical Restraint System, CMRS*);
- 5) управление дыхательными путями и применение АНД.

При этом обращается внимание на необходимость учета состояния медицинских ресурсов. Когда они ограничены, возникают дополнительные условия, связанные с использованием медицинского оборудования и затратами времени на его развертывание и подготовку к СЛР, то есть организационно-технические задачи, связанные с вопросами взаимодействия спасателей.

На основе анализа большого массива публикаций в цитируемой работе предприняты попытки обосновать возможность достижения консенсуса специалистов космической медицины по СЛР в условиях орбитальных пилотируемых космических полетов. Для этого по ряду проблемных вопросов (их приведено более 20) представлены суждения об обоснованности внесения рекомендаций по оказанию медицинской помощи в космических полетах.

Среди перечисленных в цитируемой публикации исследований базовой СЛР для целей настоящей работы представляют наибольший интерес следующие проблемные вопросы:

- какой метод в начальной стадии НМС лучше всего применять на месте оказания первой помощи, какие вспомогательные средства для этого необходимы;

- следует ли использовать автоматическое устройство для механической КГК у пациента с ВОК;

- когда и как следует использовать АНД, какой АНД и электроды следует использовать для пациента с остановкой сердца, надо ли включать АНД в состав аварийного оборудования и медицинского имущества на орбитальной станции и следует ли обучать членов экипажа использованию АНД.

Модифицированные способы СЛР, разработанные применительно к условиям искусственной микрогравитации, а также выявленные факторы риска, связанные с отклонениями от рекомендованных нормативов протоколов СЛР, представляют наибольший практический интерес для оценки их реализуемости в реальных условиях микрогравитации в орбитальных космических полетах, включая оценки возможностей человека по результатам испытаний альтернативных способов НМС.

Понимание совокупности новых ситуационных факторов, связанных с предикторами снижения качества СЛР в условиях измененной гравитации в дополнение к тем, которые установлены для наземных условий оказания первой помощи, в дальнейшем может повлиять на тактику выполнения СЛР членами экипажа.

Альтернативные, отличающиеся от наземных рекомендаций по СЛР, приемы захвата тела пострадавшего, позы спасателя и методы НМС, разработанные для условий микрогравитации

Большой массив данных о достигаемом качестве СЛР во время параболических полетов в условиях микрогравитации получен в работах [10–15] применительно к поиску рациональных способов КГК в новых (по сравнению с рекомендуемым для условий на Земле) позициях в свете трудностей

захвата тела пострадавшего, его удержания и выполнения приемов одним исполнителем или с помощью партнеров. В моделирующих невесомость экспериментах в качестве объекта воздействия использовался манекен СЛР, оснащенный датчиками для измерения параметров давления в дыхательных путях и глубины КГК.

В цитированных работах преимущественно внимание обращалось на описание занимаемых спасателем позиций относительно тела манекена. Чтобы занять необходимую позицию, необходимо осуществить захват манекена и зафиксировать его для предотвращения возможных свободных перемещений. Обычно для этого необходима помощь партнеров и применение вспомогательных средств удержания.

При этом отмечается, что исследовательские модели в условиях искусственной микрогравитации имеют ограничения в плане контроля выполнения КВИВ. Так, в частности, параболический полет позволяет находиться в условиях микрогравитации $20 \div 22$ сек (по некоторым данным – до 30 сек), в то время как стандартный цикл КГК одним спасателем на Земле длится от 1 до 2 мин, а общее время проведения СЛР может составлять десятки минут (до 30 мин при отсутствии признаков восстановления сердечной активности у пострадавшего). При оценке имеющихся ограничений следует включать в расчет время необходимое для развертывания и подготовки к работе вспомогательных устройств системы удержания и фиксации пострадавшего и аппаратов для внешней компрессии грудной клетки (англ.: *External Cardiac Compression, ECC*) и дефибрилляции.

Для иллюстрации альтернативных техник компрессии в работе [16] приведены графические иллюстрации методов выполнения НМС (рис. 1). В числе приемов выполнения захвата тела пострадавшего в условиях невесомости в публикации описаны:

- техника, при которой осуществляется захват за талию (the Waist Straddling Maneuver, WS), после чего спасатель садится на пациента верхом, используя CMRS (рис. 1, а);
- стандартная техника «боковое седло» (the Standard Side Straddle Technique, SS) предполагает, что спасатель располагается сбоку, укладывая пациента на CMRS для проведения СЛР (рис. 1, б);
- техника Эветтса – Руссомано (the Evetts – Russomano Technique, ER) требует, чтобы оказывающий помощь находился сверху пациента, скрестив ноги над его плечом и спиной (рис. 1, в);
- техника при методе «обратное медвежье объятие» (the Reverse Bear Hug Technique, RBH), когда спасатель обнимает пострадавшего сзади, используя обе руки для проведения компрессии (рис. 1, г);
- техника при использовании метода «стойка на руках» (the Handstand Technique, HS) – практикующий спасатель ставит ноги на одну из стен гермообъема, а пациент упирается спиной в противоположную стену (рис. 1, д);

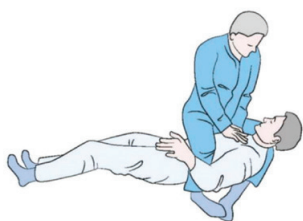
— две техники, которые требуют, чтобы оператор зафиксировал пациента на бедрах и делал НМС обеими руками по методу Шмитца – Хинкельбайна (the Schmitz – Hinkelbein–Method) (рис. 1, е) или одной рукой по Кёльнскому методу (the Cologne Method) (рис. 1, ж).



а. «Захват за талию»



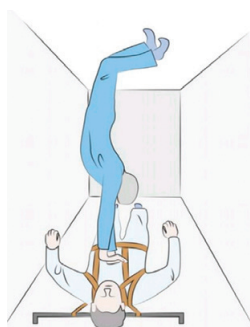
б. «Боковое седло»



в. Метод Эветтса – Руссомано



г. «Обратное медвежье объятие»



д. «Стойка на руках»



е. Метод Шмитца – Хинкельбайна



ж. Кёльнский метод

Рис. 1. Графические иллюстрации приемов и методов выполнения НМС в условиях искусственной микрогравитации в параболических полетах

В исследовании [15] изучались разные приемы компрессии, включая позиции HS, SS, WS и RBH, при выполнении СЛР в параболическом полете при использовании манекена, размещенного на CMRS.

По мнению авторов этой работы, в условиях микрогравитации наиболее надежно СЛР выполняется в положении «стойка на руках». Это также констатируется и в работе [10] при условии, если выполнению приема позволяет размер отсека космического корабля и рост спасателя, оказывающего помощь.

Что касается качества КГК, обеспечиваемого при альтернативных способах захвата манекена, то их результаты по большей части не соответствуют нормативам, предложенным в наземных рекомендациях (табл. 2).

Таблица 2

Данные альтернативных методов компрессии в параболических полетах

Наименование приема КГК	Частота компрессии, срп, кол-во/мин	Глубина компрессии, мм
1. Типовая схема на коленях. Наземные рекомендации [3].	100 ÷ 110	50,0 ÷ 55,0
2. HS SS WS [15].	98,3 ± 6,3 100,0 ± 3,0 102,6 ± 12,1	40,1 ± 5,1 30,7 ± 11,9 –
3. ETL – Encircle the thorax with legs (обхват грудной клетки ногами) [13].	68,3 ± 17,0	44,0 ± 4,99
4. ER HS RBH [14].	105,6 ± 0,8 91,9 ± 2,2 101,3 ± 1,5	37,4 ± 1,5 49,3 ± 1,2 23,9 ± 1,4

Принятие решений и готовность к активной реализации командных действий спасателями при проведении НМС

При выполнении ответственных спасательных операций в условиях дефицита времени на принятие решений об экстренном реагировании на НшС большое значение имеет фактор слаженности спасателей, достаточное число активных участников СЛР, организация командного взаимодействия.

Дополнительно к выбору приемов захвата, удержания и выполнения НМС в ряде работ моделирования условий микрогравитации проводилось изучение вопросов влияния числа спасателей на качество выполнения КГК.

В работе [13] в задачи исследования входила проверка экстренных процедур оказания помощи пациенту с использованием CMRS в течение 2 мин.

В данной работе исследователей интересовал вопрос организации работ в экстремальной ситуации, а именно: может ли заданный объем работ выполнить в экстренном порядке при жестком лимите времени один или два члена экипажа в самый ранний период после ВОК в условиях микрогравитации? Реанимация пострадавшего должна продолжаться без перерывов, в период пока готовится медицинское оборудование. Поэтому возможность без посторонней помощи успешно выполнить СЛР имеет первостепенное

значение. В рамках такой постановки исследовательской задачи была разработана методика, при которой практикующий спасатель охватывает грудную клетку пациента своими ногами, чтобы удержать пациента и провести СЛР в условиях микрогравитации параболического полета. Также в эксперименте два испытателя выполнили этот метод на манекене для СЛР с приборами для контроля КГК и параметров вентиляции. Хотя средняя частота компрессии в условиях микрогравитации оказалась значительно меньше ($p < 0,05$), чем среднее значение в условиях $+1\text{ G}$, авторы полагают, что с помощью этой методики можно проводить КГК в начальной фазе СЛР в условиях микрогравитации.

На этот вопрос имеются и другие рекомендации, в частности, в работе [10] о критериях выбора метода компрессии, при участии трех спасателей отмечены преимущества метода ER. В этом случае основное внимание уделяется аспекту перемещения и транспортировки пострадавшего.

В ожидаемой реальной обстановке спасателю придется решить, какой из методов можно применить в конкретной практической ситуации и какой из них обеспечит наиболее рациональное проведение НМС [11].

Из этого положения вытекает признание актуальности подготовки членов экипажа не только по выполнению приемов НМС, но и к принятию командных решений в условиях симуляционного тренинга по заранее разработанным сценариям в медицинских НшС.

Возможности применения устройств механической КГК в условиях микрогравитации (медико-технические аспекты)

Возможность обеспечивать эффективную длительную циркуляторную поддержку применением ручной компрессии может быть ограниченной, если принимать во внимание изменение мышечного тонуса и снижение мышечной силы космонавтов в условиях микро- и гипогравитации, в то время как устройства автоматической механической компрессии – АМК (англ.: *Automatic Chest Compression Devices, ACCDs*) могут длительно обеспечить стандартизированную глубину, скорость и длительный рабочий цикл [17–18].

Текущие актуальные рекомендации по базовой СЛР подчеркивают важность соответствующей глубины (50–60 мм) и частоты (100–120 нажатий в минуту) НМС, поскольку это имеет решающее значение для обеспечения адекватного сердечного выброса для перфузии жизненно важных органов и достижения ВСК.

С учетом этих критериев в исследование [17] показано, что НМС с использованием автоматического устройства позволяет проводить непрерывную механическую высококачественную СЛР в условиях микрогравитации при глубине компрессии ($49,9 \pm 0,7$) мм. В этом исследовании [17] устройство для автоматической КГК закреплялось на тренировочном манекене во время параболического полета с чередованием условий нормальной гравитации (1 G, что соответствует ускорению свободного падения на Земле –

9,81 м/с²), гипергравитации (1,8 G) и микрогравитации (0 G). Механические компрессии выполнялись непрерывно в течение всего параболического полета без каких-либо пропущенных компрессий, пауз или смещений устройства от манекена. Различные фазы полета вызывали ожидаемые изменения качества механического способа (в отношении глубины и освобождения), которые не были клинически значимыми в условиях микрогравитации по сравнению с нормогравитацией.

Из этих публикаций следует, что автоматические устройства могут сыграть важную роль в достижении оптимального качества КГК при СЛР, если принимать во внимание возможную ограниченность числа членов экипажа в условиях длительных полетов.

При этом установка автоматического устройства для механической КГК не должна препятствовать качественному проведению ручной КГК, поскольку подготовка экипажа к использованию этих устройств должна быть тщательной, а процесс крепления пациента к такому устройству будет занимать много времени в условиях микрогравитации [10].

В работе [16] дополнительно к приведенным выше на рис. 1 различным ручным способам СЛР в анализ была включена механическая КГК с помощью автоматического устройства, которое позволяет непрерывно проводить качественную СЛР в условиях микрогравитации.

Недавние исследования, использующие моделирование невесомости в ходе параболического полета [19, 20], свидетельствуют о том, что АМК более эффективны для НМС в условиях микрогравитации, чем рекомендуемый в обзоре работы [10] метод HS.

В работе [19] отмечается, что с точки зрения биомеханики движений человека в невесомости основная проблема СЛР состоит в согласованности перемещения пациента и спасателя и одновременной фиксации в положении, пригодном для захвата и КГК. Метод HS, при котором спасатель опирается ногами на стену и выполняет НМС, сложен в использовании и обеспечивает неоптимальную глубину и частоту компрессий, хотя он является эффективнее других альтернативных способов.

Источник [20] подтверждает выводы более ранних исследований относительно сравнительной эффективности ручной и механической компрессии при СЛР в условиях микрогравитации. Автоматическая КГК, осуществляемая механическим устройством, достигает нормативной величины по глубине КГК, в то время как ручные способы, предложенные для условий невесомости, недостаточно эффективны с точки зрения этого критерия. В их числе альтернативные методы, такие как HS, RBH и ER (см. рис. 1). До сих пор, несмотря на многочисленные испытания, ни один из предложенных методов не показал соответствия нормативам по глубине, необходимой для эффективной КГК.

В цитируемой работе [20] были протестированы три типа автоматических устройств для НМС:

- стандартное механическое поршневое устройство;
- устройство с компрессионной лентой;
- поршневое устройство небольшого размера.

Из трех протестированных автоматических устройств для НМС наибольшее среднее значение глубины компрессии было у стандартного механического поршневого устройства. Среднее значение глубины компрессии у этого устройства составило 53,0 мм, что значительно больше, чем у двух других автоматических устройств для НМС, а также чем у ручного метода НМС, при котором глубина компрессии составила 34,5 мм.

Средние значения скорости сжатия составляли 101 и диапазон [101÷101], 100 и диапазон [100÷100] и 80 сжатий в минуту (срм) для стандартного поршневого устройства, устройства с компрессионной лентой и малогабаритного поршневого устройства соответственно. Ручная компрессия обеспечивала значительно более высокую частоту сжатия – 115 срм и диапазон [109÷123] (значение $p < 0,001$).

Можно полагать, что автоматические устройства могут сыграть важную роль в достижении оптимального качества КГК при СЛР, если учитывать ограниченность числа членов экипажа в условиях длительных полетов и имеющиеся данные об атрофии мышц и потери мышечной силы космонавтов при длительном пребывании в космическом полете.

Эти положения согласуются с данными наземных наблюдений за оказанием первой помощи в группе пациентов с ВОК. Важно отметить, что улучшению прогноза СЛР служит раннее применение АМК. Устройства для механической КГК рекомендуются в тех случаях, когда невозможно обеспечить качественную ручную КГК.

На практике применяются различные АМК. В работе [21] изучался вопрос, как выбор типа механического устройства может повлиять на вероятность ВСК и 30-дневную выживаемость у пациентов с остановкой сердца вне больницы по сравнению со стандартной ручной СЛР.

В этой работе дается обоснование выбора механических устройств для экспериментов. Приводятся теоретические воззрения на механизмы циркуляции крови во время СЛР.

Теория «сердечного насоса» опирается на физиологические описания нормальной работы сердца: митральный клапан закрыт, аортальный клапан открыт, и во время НМС кровь физиологически циркулирует.

Теория «грудного насоса» объясняет эффект НМС тем, что КГК вызывает общее повышение внутригрудного давления, которое передается всем сердечным камерам и сосудам в грудной клетке. Это повышенное давление создает градиент артериовенозного давления, что приводит к прямому току крови благодаря наличию венозных клапанов, расположенных на выходе из грудной клетки, которые препятствуют передаче повышенного давления в грудной клетке в венозную систему.

Испытанные в работе [21] устройства были разделены на три категории:

- устройства с поршневым приводом, такие как LUCAS® (Stryker, MI), которые концептуально больше похожи на ручную КГК и в целом соответствуют теории «сердечного насоса»;
- устройства с ленточным распределением нагрузки, такие как Autopulse® (ZOLL Medical, MA), основанные на теории «грудного насоса»;
- комбинация поршневого и ленточного типов, такая как Easy Pulse® (Schiller, Швейцария).

Данные проведенного исследования позволили авторам сделать вывод, что испытанные устройства могут повысить частоту ВСК, особенно при проведении длительной реанимации.

Заключение

Актуальность изучения лимитирующих факторов оказания первой помощи в свете существующих рисков для здоровья и работоспособности космонавтов при освоении Луны и планет Солнечной системы исключительно высока, так как разрабатываемые специалистами рекомендации будут адресованы непосредственно экипажу, который должен их реализовать в порядке само- и взаимопомощи без оперативной поддержки с Земли. Это положение в полной мере относится к такому опасному состоянию, как ВОК в условиях микрогравитации.

При адаптации разработанных экспертным сообществом протоколов СЛР к новым реалиям межпланетных полетов необходимо опираться на современные достижения ряда смежных областей:

- клинической реаниматологии и медицины чрезвычайных ситуаций, охватывающие вопросы оказания первой помощи в жизнеугрожающих ситуациях;
- космической медицины по вопросам медицинского обеспечения пилотируемых полетов и оказания медицинской помощи в жизнеугрожающих ситуациях;
- экспериментальной физиологии, психофизиологии и медицинского приборостроения для исследования функций и реакций организма при имитационном моделировании условий микро- и гипогравитации;
- симуляционного обучения на базе манекенов СЛР при ВОК;
- инженерной и организационной психологии в области учета человеческого фактора при функционировании малых рабочих групп в условиях автономии.

В работе была поставлена цель обобщить литературные сведения по вопросам оказания первой помощи в критичной для выживания начальной фазе наступления острых нарушений жизненно важных функций, что требует акцентированного внимания к проведению НМС методом ручной КГК в условиях микрогравитации.

В настоящем обзоре представлен анализ литературы с результатами экспериментальной проверки различных методов проведения КГК в условиях измененной гравитации. Это дает основания для выявления возможных ситуаций, когда применяемые средства и методы не соответствуют стандартам качества КГК, принятым на Земле, с точки зрения достижимой глубины и способности спасателей длительно поддерживать НМС. Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что достижение в новых условиях сопоставимого с актуальными требованиями протоколов и рекомендаций качества СЛР, может встретить серьезные трудности при недостаточном учете лимитирующих факторов, включая фактор готовности работоспособных членов экипажа к экстренной мобилизации, чтобы осуществить комплекс мероприятий СЛР.

При составлении регламентов поведения и действий экипажа в медицинской НшС необходимо опираться на опыт проведения СЛР в условиях обычной земной гравитации вне медицинской организации. Это в первую очередь относится к НМС, который должен выполняться в числе экстренных первоочередных мероприятий.

По литературным данным о проведении испытаний способов НМС на манекене в условиях искусственной микрогравитации установлены риски снижения качества КГК, которые подтверждают эмпирически установленные в наземных условиях предикторы выживания в зависимости от степени восстановления кровотока. В их число входят качество НМС, определяемое по показателям глубины и частоты КГК, соотношения частоты компрессии и вентиляции легких и другое, а также КВИВ при СЛР, такие как:

- запаздывание с началом СЛР;
- длительность перерывов в компрессии и др.

В то же время прямой перенос типичных наземных приемов выполнения НМС в условия невесомости имеет ограничения из-за измененной кинематики перемещения в невесомости и сложности выполнения космонавтами моторных актов.

Выполненный анализ свидетельствует об осуществимости НМС в условиях невесомости силами работоспособных членов экипажа с выполнением требований экстренного начала СЛР. Выполнение в полном объеме проверок требований по КВИВ не позволяет длительность параболического полета. Представленные в литературе методы проведения СЛР в условиях микрогравитации могут обеспечить необходимую частоту КГК, но могут не соответствовать стандартам, принятым на Земле, с точки зрения достигаемой глубины КГК. Тем не менее применение альтернативных приемов захвата манекена и фиксации с помощью специальной системы удержания дает экипажу возможность приступить к СЛР и выиграть время для задействования расширенных средства спасения. В частности, испытания в условиях измененной гравитации свидетельствуют в пользу автоматических методов наружной механической КГК.

Проблема оказания медицинской помощи в длительных космических миссиях остается актуальной на протяжении десятков лет и, по мнению многих исследователей, все еще требует дополнительных усилий.

Выводы

1. Общий вывод большинства работ, включенных в обзор настоящего исследования по развитию методологии и средств оказания первой помощи при ВОК в пилотируемых космических полетах, заключается в том, что СЛР должна применяться в соответствии с рекомендациями в отношении актуальных положений консенсуса Международного научного сообщества по протоколам СЛР в наземных условиях, таким как срочное распознавание и начало воздействия. Акцент следует делать на высококачественном НМС, поддержании частоты и глубины КГК и соотношениях частоты компрессии и вентиляции легких, а также раннем применении АНД.

2. Наибольшее число исследований посвящено технике КГК в условиях микрогравитации параболического полета и ее результативности в зависимости от альтернативных техник НМС.

3. Для выполнения требований по качеству НМС базовой СЛР в условиях микрогравитации космического полета требуется внесение определенных изменений в технику выполнения НМС (таких как захват тела пострадавшего, принятие исходного положения спасателя для осуществления КГК с максимально возможным качеством при использовании CMRS), а также управление дыхательными путями и применение аппаратов механической компрессии и АНД. При выборе организационно-тактических решений необходим учет состояния медицинских ресурсов, поскольку они крайне ограничены на космических аппаратах и имеются дополнительные требования, связанные с использованием медицинского оборудования, затратами времени на его развертывание и подготовку к СЛР.

Работа выполнена в рамках базовой тематики РАН FMFR 2024-0034 и FMFR 2024-0039.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. An Overview of Space Medicine / P.D. Hodkinson, R.A. Anderton, B.N. Posselt, K.J. Fong. – DOI: 10.1093/bja/aex336 // British Journal of Anaesthesia. – 2017. – P. i143–i153.
2. International Consensus on Cardiopulmonary Resus and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces / R. Greif, J.E. Bray, T. Djärv [et al.]. – DOI: 10.1161/CIR.0000000000001288 // Circulation. – 2024. – No 150(24). – P. e580-e687.

3. Сердечно-легочная и церебральная реанимация / В.В. Мороз, И.Г. Бобринская, В.Ю. Васильев [и др.]. – Москва: НИИ ОП РАМН, МГМСУ, 2011. – 48 с.
Cardiopulmonary and Cerebral Resuscitation / V.V. Moroz, I.G. Bobrinskaya, V.Yu. Vasiliev [et al.]. – Moscow: Research Institute of Cardiology Russian Academy of Medical Sciences, Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry, 2011. – 48 p. (In Russian).
4. Интенсивная терапия: национальное руководство: в 2 т. Том 1 / под ред. И.Б. Заболотских, Д.Н. Проценко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГОТАР-Медиа, 2021. – С. 77–112. – ISBN 978-5-9704-6258-4.
Intensive care: a National Guide: in 2 Vol. Volume 1 / ed. by I.B. Zabolotskikh, D.N. Protsenko. – 2nd ed. – Moscow: Geotar-Media, 2021. – P. 77–112. – ISBN 978-5-9704-6258-4 (In Russian).
5. Sandroni, C. Brain Injury after Cardiac Arrest: Pathophysiology, Treatment, and Prognosis / C. Sandroni, T. Cronberg, M. Sekhon. – DOI: 10.1007/s00134-021-06548-2 // Intensive Care Medicine. – No 47. – P. 1393–1414.
6. Buunk, G. Cerebral Blood Flow After Cardiac Arrest / G. Buunk, J.G. van der Hoeven, A.E. Meinders. – DOI: 10.1016/s0300-2977(00)00059-0 // Nederlands Tijdschrift Voor Geneeskunde. – 2000. – No 57(3). – P. 106–12.
7. Основы базовой сердечно-легочной реанимации: учебное пособие для обучающихся в системе среднего, высшего и дополнительного профессионального образования / В.А. Глушенко, С.А. Володченко, Р.В. Донских, З.А. Зарипова [и др.]. – Санкт-Петербург: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, 2024. – 60 с.
Fundamentals of Basic Cardiopulmonary Resus: a Textbook for Students in the System of Secondary, Higher and Additional Professional Education / V.A. Glushchenko, S.A. Volodchenko, R.V. Donskikh, Z.A. Zaripova [et al.]. – Saint Petersburg: N.N. Petrov National Research Medical Center of Oncology, 2024. – 60 p. (In Russian).
8. Technique for Chest Compressions in Adult CPR / T.K. Rajab, C.N. Pozner, C. Conrad, L.H. Cohn [et al.]. – DOI: 10.1186/1749-7922-6-41 // World Journal of Emergency Surgery. – 2011. – P. 6–41.
9. Robles, RMA. Cardiopulmonary Resuscitation in Microgravity and in Human Space Flight / RMA. Robles, ER. Carrillo. – DOI: 10.35366/115680 // Medicina Crítica. – 2024. – No 38(1). – P. 40–50.
10. Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) During Spaceflight – a Guideline for CPR in Microgravity the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM) and European Society of Aerospace Medicine Space Medicine Group (ESAM-SMG), 2020 / J. Hinkelbein, S. Kerkhoff, C. Adler [et al.]. – DOI: 10.1186/s13049-020-00793-y // Scandinavian Journal of Trauma, Resus and Emergency Medicine. – 2020. – No 28. – P. 108.
11. Cardiopulmonary Resus in Hypogravity Simulation / S. Sriharan, G. Kay, J.C.Y. Lee, R.D. Pollock [et al.]. – DOI: 10.3357/AMHP.5733.2021 // Aerospace Medicine and Human Performance. – 2021. – No 92(2). – P. 106–112.
12. Evaluation of a Novel Basic Life Support Method in Simulated Microgravity / L. Rehnberg, T. Russomano, F. Falcão, F. Campos [et al.]. – DOI: 10.3357/asem.2856.2011 // Aviation, Space, and Environmental Medicine. – 2011. – No 82(2). – P. 104–110.

13. Basic Life Support in Microgravity: Evaluation of a Novel Method During Parabolic Flight / S.N. Evetts, L.M. Evetts, T. Russomano, J.C. Castro [et al.] // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. – 2005. – No 6(5). – P. 506–510.
14. Three Methods of Manual External Chest Compressions During Microgravity Simulation / L. Rehnberg, A. Ashcroft, J.H. Baers, F. Campos [et al.]. – DOI: 10.3357/asm.3854.2014 // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. – 2014. – No 85(7). – P. 687–693.
15. CPR Effectiveness in Microgravity: Comparison of Three Positions and a Mechanical Device / G.D. Jay, P.H.U. Lee, H. Goldsmith, J. Battat [et al.] // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. – 2003. – No 74. – P. 1183–1189.
16. Alternative Techniques for Cardiopulmonary Resuscitation in Extreme Environments – A Scoping Review / R. Overbeek, F. Liebold, L. Johnson Kolaparambil Varghese, NB. Adams [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resplu.2024.100762 // *Resuscitation Plus*. – 2024. – No 20. – P. 100762.
17. Mechanical Cardiopulmonary Resuscitation in Microgravity and Hypergravity Conditions: A Manikin Study During Parabolic Flight / A. Forti, MJ. van Veelen, T. Squizzato, T. Dal Cappello [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ajem.2021.12.056 // *American Journal of Emergency Medicine*. – 2022. – No 53. – P. 54–58.
18. Manual Versus Automatic Chest Compression Devices for Cardiopulmonary Resuscitation Under Zero Gravity (The MACCC – 0G STUDY) / N. Reynette, L. Sagnières, B. Pequignot, B. Levy [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110385 // *Resuscitation*. – 2024. – No 203. – P. 110385.
19. Randomized Comparison of Two New Methods for Chest Compressions during CPR in Microgravity-A Manikin Study / J. Schmitz, A. Ahlbäck, J. DuCanto, S. Kerkhoff [et al.]. – DOI: 10.3390/jcm11030646 // *Journal of Clinical Medicine*. – 2022. – No 11(3). – P. 646.
20. Manual Versus Automatic Chest Compression Devices for Cardiopulmonary Resuscitation Under Zero Gravity (the MACCC – 0G STUDY) / N. Reynette, L. Sagnières, B. Pequignot [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110385 // *Resuscitation*. – 2024. – No 203. – P. 110385.
21. Use of Mechanical Chest Compression for Resuscitation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest – Device Matters: a Propensity-Score-Based Match Analysis / R. Primi, S. Bendotti, A. Currao, G.M. Sechi [et al.]. – DOI: 10.3390/jcm12134429 // *Journal of Clinical Medicine*. – 2023. – No 12(13). – P. 4429.