

Устройство «УДОД» для дыхания под отрицательным давлением на Земле и в Космосе

Суворов А.В., Дьяченко А.И., Попова Ю.А., Семенов Ю.С.

ГНЦ РФ-ИМБП РАН

Введение

Переполнение сосудов головы кровью – одна из основных проблем при пребывании человека в условия микрогравитации, особенно, на начальных этапах. При длительном (более нескольких часов) отсутствии гравитации заметная часть крови перераспределяется в направлении головы, что приводит к отечности тканей. Может появляться ощущение заложенности носа, ухудшаться самочувствие, снижаться работоспособность. Чтобы предотвратить перемещение крови и других жидкостей организма в сторону головы в космическом полете, относительно давно применяют некоторые методы, ограничивающие приток жидкостей в голову. Прежде всего, это пережимающие манжеты на нижние и верхние конечности, которые удерживают жидкость в конечностях и, тем самым, уменьшают возможность ее перемещения в голову. Другой метод – создание разрежения вокруг нижней половины тела с помощью специального «костюма» «Чибис», в который помещают ноги и нижнюю часть торса. Разрежение уже в несколько десятков миллиметров ртутного столба увеличивает объем вен нижней половины тела и препятствует смещению крови в верхнюю половину тела.

В 1991 году М.А. Тихонов и В.М. Баранов предложили новый принцип коррекции расстройств, связанных с нарушениями гемодинамики. В его основе – не снижение притока жидкости в голову, а увеличение оттока жидкости от головы за счет дополнительного снижения внутригрудного давления (ВГД). В норме на вдохе в плевральной полости и в альвеолах легких создается отрицательное давление за счет чего происходит, в том числе, и венозный возврат крови к сердцу. Ученые разработали способ снижения ВГД с помощью дыхания под отрицательным (относительно атмосферного) давлением (ДОД) путем подключения системы для дыхания к «Чибису». При этом ДОД действовало как на вдохе, так и на выдохе (рис. 1). В работах М.А. Тихонова, Ж.А. Дониной, В.М. Баранова (2003) было показано, что такое применение ДОД действительно способствует оттоку крови от головы. Но ограничения, связанные с использованием костюма «Чибис» для создания ДОД, заставили искать другие способы снижения ВГД. Специалисты ИМБП предложили снижать ВГД только

на вдохе (ДОДвд) за счет использования подпружиненного клапана вдоха. Этот клапан создает сопротивление вдоху и за счет этого дополнительно снижает альвеолярное и внутригрудное давление. Для реализации этого метода был разработан прибор «УДОД», т.е. устройство для дыхания под отрицательным давлением.

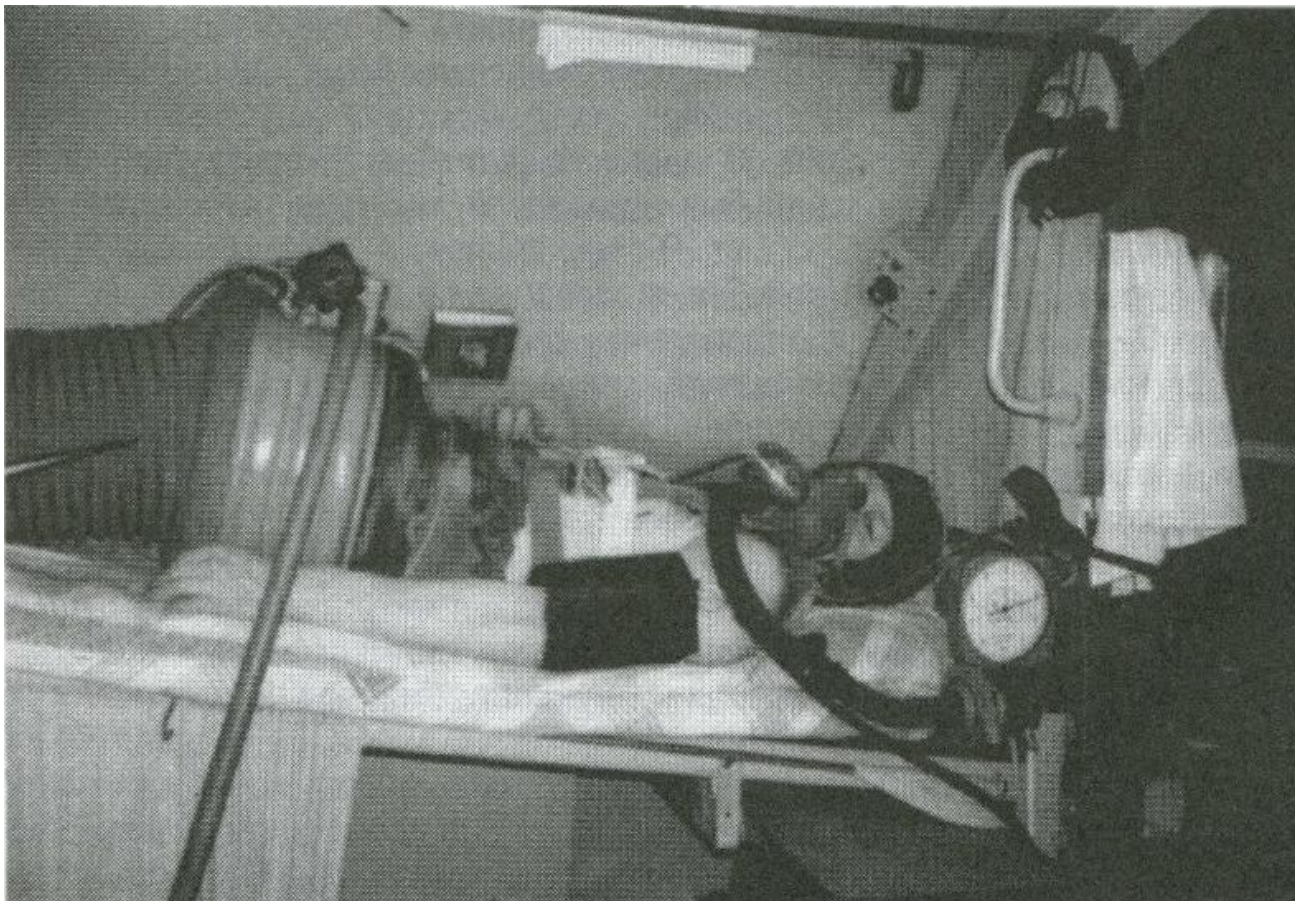


Рис. 1. Эксперимент с комплексным баровоздействием (ДОД с подключением к костюму «Чибис»). Фото из монографии: Ж.А. Дони́на, В.М. Баранов, Н.П. Александрова, А.Д. Ноздрачёв. «Дыхание и гемодинамика при моделировании физиологических эффектов невесомости». СПб: Наука, 2013.

Первый интерес к аналогичным устройствам возник еще в 1900-х годах у доктора Эрнста Куна (Ernst Kuhn) из Института патологии Берлинского университета, который предложил и успешно использовал их для лечения туберкулеза легких за счёт улучшения кровообращения. Почти одновременно американец Кит Лурье (Keith Lurie) предложил использовать подобный прибор в полевых условиях для увеличения кровотока при непрямом массаже сердца. В конце прошлого века к работам подключился физиолог из NASA Виктор Конвертино (Victor Convertino). Оказалось, что при искусственном создании оттока крови к ногам с помощью отрицательного давления на нижнюю часть тела (как при применении уже

упомянутого костюма «Чибис») ДОДвд позволяет поддерживать кровяное давление на должном уровне (Convertino et al., Lurie et al., 1993-2015).

Специалисты ИМБП, применив математическое моделирование, сравнили два режима дыхания при отрицательном давлении: на всем цикле дыхания – и на вдохе, и на выдохе (ДОД) и только на вдохе (с помощью УДОД). Оказалось, что оба режима увеличивают работу дыхания, т.е. могут служить существенной тренировкой для дыхательных мышц, ослабленных при длительном воздействии невесомости. При этом ДОД снижает среднее ВГД в большей степени, чем УДОД. Уменьшение среднего ВГД при УДОД пропорционально доле фазы вдоха в продолжительности дыхательного цикла. Однако, использование «Чибиса» (для создания ДОД) возможно только в условиях станций или больших кораблей. Поэтому на данном этапе важно оценить эффективность УДОД в условиях реального космического полёта с возможностью применения на различных космических кораблях.



Рис. 2. Исследования дыхания и кровообращения при УДОД в наземных экспериментах по моделированию эффектов невесомости (антиортостатическом положении тела). Маска УДОД подсоединена к системе регистрации параметров дыхания. Фото авторов.

Основная часть

Начиная с 2013 г. под руководством академика РАН В.М. Баранова на борту МКС проводится космический эксперимент (КЭ) «УДОД», призванный дать ответ на вопрос о влиянии ДОДвд на кардиореспираторную систему и состояние жидких сред организма.

В каждом цикле эксперимента «УДОД» предварительно (до начала использования для дыхания маски с дополнительным сопротивлением на вдохе) у космонавта проводится углубленное исследование функции внешнего дыхания методом спирометрии с использованием комплекта аппаратуры «Дыхание-1», а также регистрируются исходные показатели распределения жидких сред организма методом измерения величины импеданса (электрического сопротивления) тканей в области головы и конечностей (импедансометрия) с помощью прибора «Спрут-2». После измерения фоновых данных космонавт надевает маску УДОД и дышит через маску в течение 20 минут (маска позволяет создавать разрежение на вдохе от – 5 до – 20 см вод.ст., но, как правило, рекомендуется устанавливать максимальное



сопротивление в маске на уровне – 20 см вод.ст., если космонавт хорошо переносит такую нагрузку). Во время дыхания продолжается регистрация дыхательных движений с помощью двух поясов, а также подмасочного давления и величин импеданса (рис. 3). Кроме того, до и после дыхания через маску космонавт дает субъективную оценку самочувствия в баллах по анкете-опроснику.

Рис. 3. Проведение КЭ «УДОД» в условиях космического полёта членом экипажа МКС-43 с одновременным применением маски УДОД и комплектов «Дыхание-1» и «Спрут-2». Фото предоставлено Центром управления полётами Центрального научно-исследовательского института машиностроения (г. Королёв, Московская область).

Всего у каждого обследуемого космонавта проводится 2–3 серии исследований до полёта (они же одновременно являются тренировочными занятиями для самостоятельного проведения методики), 3 серии исследования в космическом полёте (с промежутком между сериями около 1,5 мес) и две серии обследования после приземления (как правило, на 4–6 и 13–14 сутки после возвращения на Землю).

Полученные к настоящему времени в экспедициях МКС 43–47 результаты КЭ «УДОД» показали, что реакция кардиореспираторной системы у обследуемых космонавтов на дозированное сопротивление дыханию на вдохе имеет ярко выраженный индивидуальный характер. У одних обследуемых при дыхании через маску УДОД происходил ожидаемый отток крови от головы, у других – распределение жидкости оставалось на прежнем уровне. Более того, у одного из космонавтов импеданс головы при дыхании через УДОД изменялся разнонаправленно в разных сериях эксперимента на борту. Наиболее вероятной причиной выявленных отличий могут быть различия в исходном кровенаполнении головы на момент исследований. Кроме того, полученные данные могут свидетельствовать о различных путях адаптации организма к этому воздействию. Все это обуславливает необходимость дальнейшего проведения исследований в этом направлении.

Весьма характерной и ожидаемой реакцией была перестройка ритма дыхания при использовании УДОД – дыхание становится глубоким и редким, вплоть до 3–4 циклов в минуту. Хорошо известно, что переход на более глубокое и редкое дыхание является более эффективным и энергетически выгодным в условиях дыхания с сопротивлением. Дополнительно были выявлены незначительные изменения функционирования дыхательной системы – некоторое смещение грудной клетки на уровне спокойного выдоха, небольшие периодические нарушения проходимости бронхов. Но, главное, что параметры внешнего дыхания во время космического полета сохранялись в пределах физиологической нормы здорового человека.

Заключение

Работа по КЭ «УДОД» в Космосе и на Земле, а также ранее проведенные нами и в мире исследования показали, что реакция здорового человека на дыхание под отрицательным давлением имеет как общие черты, так и индивидуальные характеристики, связанные с особенностями регуляции механизма дыхания. Проведение КЭ «УДОД» позволит исследовать

физиологические эффекты применения разных режимов УДОД в разнообразных условиях для дальнейшего использования их в космической и земной медицине и физиологии. В космической физиологии решение проблем гемодинамических расстройств и повышения внутричерепного давления с применением того или иного варианта УДОД является одним из возможных путей профилактики негативного воздействия факторов космического полета на организм. Для земной медицины наибольший интерес представляет применение УДОД для компенсации расстройств сердечно-сосудистой системы (в боевой обстановке, авариях и т.д.), а в спортивной физиологии – в качестве тренажера дыхательных мышц.