

УДК 612.217.766

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ДЫХАНИЯ ПОД ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ (ДОД) ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕМОДИНАМИКИ

Ж.А. Дони́на<sup>1</sup>, В.М. Баранов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>НИИ Общей патологии и патофизиологии РАМН, Москва

На наркотизированных кошках исследовали эффективность метода дыхания под отрицательным давлением (ДОД) для коррекции гемодинамических изменений, возникающих в антиортостатическом положении (АОП-30°). Наблюдаемое в АОП повышение давлений в верхней полой и наружной яремной вене свидетельствует о затрудненном венозном оттоке из краниоцервикальных сосудов. Применение ДОД способствовало улучшению венозного оттока из сосудистой системы головы, что проявлялось в снижении давлений в яремной и верхней полой венах до уровня, соответствующего горизонтальному положению тела. ДОД не вызывало значимых изменений системной гемодинамики, паттерна дыхания и газообмена. Установленные факты позволяют сделать заключение об эффективности ДОД для снижения возможности развития венозного застоя в черепно-мозговых сосудах при антиортостатической нагрузке.

**Ключевые слова:** антиортостатическое положение, гемодинамика, дыхание под отрицательным давлением.

**Введение.** Постуральные воздействия (изменение положения тела в пространстве) сопровождаются перераспределением жидкостных сред организма, в том числе и объемов крови в соответствии с направлением гидростатических сил в сосудистой системе. Регионарное перераспределение крови при орто- и антиортостатическом воздействии приводит к разнонаправленным гемодинамическим сдвигам в краниальном и каудальном отделах туловища, взаимообусловленным реакциями со стороны различных висцеральных систем организма, и прежде всего в сердечно-сосудистой и дыхательной системе. Изучение постуральных реакций гемодинамики имеет большое значение для врачей-клиницистов, водолазных врачей и особенно специалистов космической медицины.

В частности, в практике космической медицины антиортостатическая гипокinezия (АНОГ) используется в качестве функциональной пробы для воспроизведения и изучения последствий перераспределения крови в краниальном направлении, характерном для условий невесомости [1; 2; 3].

Продолжительное пребывание в невесомости или в условиях АНОГ вызывает сдвиги в ряде функциональных систем организма, к которым следует отнести в первую очередь сердечно-сосудистую систему [4; 9]. Перераспределение регионарных объемов крови в краниальном направлении сопровождается проявлениями в виде негативных субъективных ощущений и объективных физиологических реакций, особенно выраженных в раннем периоде адаптации к невесомости. В результате сочетанного действия таких факторов, как гиподинамия, утрата гидростатического давления крови, снижение афферентной импульсации с проприорецепторов мышц и др., наблюдаются выраженные ортостатические реакции сердечно-сосудистой системы вплоть до возникновения ортостатического коллапса [3]. В связи с этим совершенствование средств и методов профилактики, направленных на улучшение общего физического состояния и работоспособности космонавтов на начальном этапе действия невесомости, повышение ортостатической устойчивости после длительного пребывания

в невесомости являются актуальными медико-био-логическими задачами.

Профилактические средства, направленные на предупреждение или частичную компенсацию перераспределения крови, связанного с отсутствием гидростатического давления, состоят в использовании методов, искусственно воспроизводящих эффект гидростатического давления [6; 7; 8].

Применяемые методы коррекции гемодинамических сдвигов в условиях невесомости – компрессионные манжеты, отрицательное давление на нижнюю половину тела (ОДНТ) – несмотря на различие в их физических особенностях и регионах применения, основаны на едином физиологическом механизме: оттоке и депонировании некоторых объемов крови в периферическом сосудистом русле туловища и конечностей. Это способствует нормализации венозного возврата к правому сердцу, кровенаполнения головы, органов и сосудов грудной полости.

В настоящее время для коррекции перераспределения крови в краниальном направлении разработан новый метод, основанный не на ограничении притока, а на усилении оттока крови из интракраниального сосудистого бассейна по яремным венам в грудную полость, в верхнюю полую вену и камеры сердца [5]. Данный способ реализуется посредством дыхания с дозированным разрежением (дыхание под отрицательным давлением, ДОД). Такой метод профилактики исключает одну из возможных основных причин ортостатических циркуляторных расстройств – снижение венозного возврата и сердечного выброса с последующим падением артериального давления и развития сосудистого коллапса.

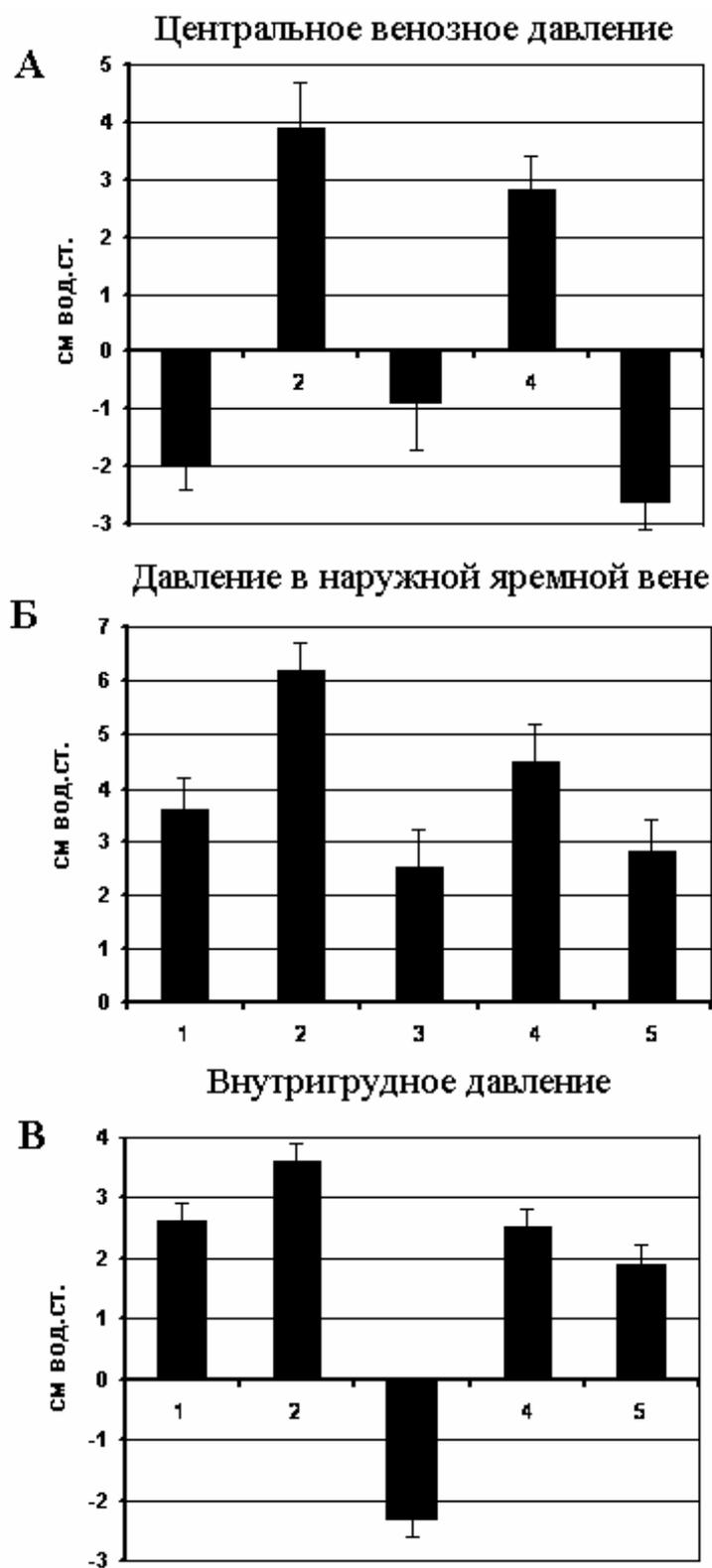
**Цель исследования.** Изучение эффективности дыхания под отрицательным давлением (ДОД) для снижения интенсивности негативных гемодинамических сдвигов при антиортостатическом моделировании перераспределения крови в краниальном направлении.

**Материалы и методы.** Эксперименты проведены с соблюдением основных норм и правил биомедицинской этики на 14 наркотизированных (тиопентал натрия, 40 мг/кг) тра-

хеостомированных кошках массой 3,0–3,5 кг. Для перераспределения крови в краниальном направлении использовали антиортостатическое положение с углом наклона  $-30^\circ$  (АОП  $-30^\circ$ ). В ходе эксперимента проводили регистрацию трахеального давления (ТД), частоты дыхания (ЧД), инспираторного внутригрудного давления (пищеводного) (ВГД), систолического и диастолического давления в бедренной артерии (АДс и АДд), давления в передней полой и наружной яремной вене (ЦВД, Ряр.в.), электрокардиограмму (ЭКГ) методом биполярного отведения сигналов. Дыхание под отрицательным давлением (ДОД) осуществляли с помощью ресивера, в котором поддерживали заданный уровень разрежения на вдохе и выдохе ( $-5$  см вод.ст.).

Эксперименты проводили по следующему протоколу: 1 – контроль; горизонтальное положение (15 мин); 2 – АОП  $-30^\circ$  (5 мин); 3 – АОП + ДОД (5 мин); 4 – АОП  $-30^\circ$  (1 мин); 5 – горизонтальное положение (15 мин).

**Результаты и обсуждение.** Полученные результаты (рис. 1) показали, что в АОП происходило увеличение (уменьшение негативности) инспираторного ВГД в 1,4 раза ( $p < 0,05$ ) по сравнению с исходным уровнем в горизонтальном положении. Повышение значений ВГД было обусловлено смещением диафрагмы в грудном направлении, увеличением внутригрудного объема крови и гипергидратацией легких, уменьшением растяжимости (compliance) и, как следствие, изменениями биомеханики дыхания [2]. Уже на 1-й мин пребывания в АОП происходило одновременное увеличение Ряр.в. в 1,7 раза (от  $3,6 \pm 0,6$  до  $6,2 \pm 0,5$  см вод.ст. ( $p < 0,05$ )), а ЦВД – в 3 раза (от  $-2,0 \pm 0,4$  до  $3,9 \pm 0,8$  см вод.ст. ( $p < 0,001$ )), но к 30-й минуте наблюдалась тенденция к снижению этих значений. Кроме того, увеличение Ряр.в. и ЦВД сопровождалось возрастанием амплитуды колебаний, связанных с грудобрюшной механикой, деятельностью сердца и перераспределением крови в сосуды грудной полости. Переход из горизонтального положения в антиортостатическое сопровождался кратковременным подъемом АД в среднем на 20 мм рт.ст.



**Рис. 1.** Динамика центрального венозного давления (А), давления в наружной яремной вене (Б) и внутригрудного давления (В) в антиортостатическом положении (АОП) при дыхании с отрицательным давлением (ДОД).

По оси абсцисс: 1 – контроль (горизонтальное положение), 2 – АОП, 3 – АОП+ДОД, 4 – АОП; 5 – горизонтальное положение. По оси ординат: давление, см вод.ст.

В дальнейшем уровень артериального давления (АДс и АДд) превышал фоновые значения на 10–12 мм рт.ст. и не изменялся до завершения пробы с АОП. ЧСС в этот период увеличивалась в среднем на 14 уд./мин и оставалась неизменной до конца антиортостатической нагрузки. Такая реакция системной гемодинамики свидетельствует о включении регулирующей функции синокаротидных и аортальных барорецепторов (высокого давления).

При дыхании с отрицательным давлением в АОП перепад давления в трахее соответствовал  $(-5,2 \pm 0,4)$  см вод.ст., в грудной полости –  $(-5,4 \pm 0,3)$  см вод.ст. Во время пробы с ДОД происходило увеличение ЧД на 20 %, а измерение содержания кислорода и углекислого газа в конечной порции выдыхаемого воздуха не выявило существенных изменений фракционных концентраций этих газов. Постоянство газового состава выдыхаемого воздуха свидетельствует об отсутствии гипервентиляции, гипоксических или гиперкапнических влияний мертвого пространства дыхательного контура, использованного для ДОД. Полученные данные свидетельствуют о том, что ДОД при АОП приводило к значительному и быстрому снижению давлений в наружной яремной (в 3,2 раза) и передней поллой венах (в 4,5 раза) с момента начала воздействия. Следует отметить, что реакция снижения ЦВД проявлялась несколько раньше, чем в яремной вене.

Начальный период воздействия ДОД сопровождался кратковременным повышением АД, однако в дальнейшем АД и ЧСС стабилизировались на уровне, соответствующем контрольным значениям. Немаловажным является то, что показатели системной гемодинамики практически не изменялись в течение всего периода влияния ДОД. При отключении ДОД в антиортостатическом положении вновь происходило существенное увеличение венозных давлений, однако это повышение было менее выраженным, чем до применения воздействия. Этот факт в достаточной степени свидетельствует о том, что снижение центрального венозного давления и давления в яремной вене и их стабилизация на уровне, близком к контрольным значениям в гори-

зонтальном положении, были обусловлены исключительно влиянием ДОД.

**Результаты и обсуждение.** Как показали результаты проведенного исследования, в АОП происходило одновременное и значительное увеличение давлений в передней поллой и наружной яремной венах, что является следствием перераспределения крови в краниальном направлении и затруднения венозного оттока из краниоцервикальных сосудов. Применение ДОД сопровождалось снижением давления в яремной и передней поллой венах до уровня, наблюдавшегося в исходном горизонтальном положении. Необходимо отметить, что применявшееся воздействие не вызывало существенных изменений в показателях системной гемодинамики, паттерна дыхания и газообмена.

Поскольку при изменении гидростатических условий основную роль в развитии гемодинамических реакций играет венозная система, наблюдавшееся увеличение ЦВД в АОП следует рассматривать как пусковой механизм ауторегуляции деятельности сердца, обеспечивающий новое гемодинамическое равновесие в условиях нагрузки сердца давлением и объемом (закон Франка-Старлинга). Необходимо также учитывать, что стабилизация венозных давлений на более высоком уровне в начальном периоде АОП по сравнению с горизонтальным положением обусловлена, по-видимому, преимущественно барорефлекторными реакциями, тогда как тенденция к снижению этих показателей к 30-й минуте в АОП свидетельствует о включении разгрузочных волюморегулирующих нейрогуморальных механизмов, направленных на снижение ЦВД [9].

Как видно из полученных данных, происходящие гемодинамические сдвиги при ДОД обусловлены увеличением негативности внутригрудного давления, в результате которого значительно возрастает присасывающее действие грудной клетки, способствующее увеличению венозного возврата к сердцу. Кроме того, снижение давления в грудной полости приводит к усилению присасывающей функции предсердий, в результате чего возрастает приток крови из вен в

предсердия и, в соответствии с законом Франка-Старлинга, – к увеличению ударного объема.

В физиологических условиях идентичное снижение внутригрудного давления возникает в условиях глубокого вдоха, что вызывает повышение трансмурального давления во внутригрудных сосудах и сопровождается их расширением (особенно вен), снижением гидростатического сопротивления и интенсивным засасыванием крови из соседних областей. Причем снижение давления и увеличение венозного кровотока особенно выражены в верхней полой вене.

**Заключение.** Результаты исследования позволяют провести соизмеримые физиологические параллели между респираторными и сердечно-сосудистыми реакциями, возникающими при глубоком одиночном спонтанном вдохе, и постоянным ДОД, что дает возможность предполагать о физиологичности и приемлемости данного воздействия в качестве метода коррекции антиортостатического перераспределения региональных объемов крови, в частности увеличенного кровенаполнения сосудистой системы головы.

1. Атьков, О.Ю. Гипокинезия, невесомость: клинические и физиологические аспекты / О.Ю. Атьков, В.С. Бедненко. – М. : Наука, 1989. – 304 с.
2. Газенко, О.Г. Физиологические проблемы невесомости / О.Г. Газенко, И.И. Касьян. – М. : Медицина, 1990. – 288 с.
3. Григорьев, А.И. Сердечно-сосудистая система человека в условиях космического полета / А.И. Григорьев, В.М. Баранов // Вестн. РАМН. – 2003. – Т. 12. – С. 41–45.
4. Некоторые механизмы моделирования гидростатического компонента гемодинамики в условиях микрогравитации / В.М. Баранов и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2000. – Т. 34, №4. – С. 27–31.
5. Тихонов, М.А. Способ коррекции кровенаполнения сосудистой системы головы в условиях невесомости / М.А. Тихонов, В.М. Баранов, В.А. Дегтярев. – Авт. свид. №0673 от 15.07.1991.
6. Cardio-respiratory changes during the onset of head-down tilt / C. Soubiran et al. // Aviat. Space Environ. Med. – 1996. – Vol. 67, №7. – P. 648–653.
7. Influences of thigh cuffs on the cardiovascular system during 7-day head-down bed rest / P. Arbeille et al. // J. Appl. Physiol. – 1999. – V. 87. – №6. – P. 2168–2176.
8. No effect of venoconstrictive thigh cuffs on orthostatic hypotension induced by head-down bed rest / M. Custaud et al. // Acta Physiol. Scand. – 2000. – Vol. 170, №2. – P. 77–85.
9. Ven constriction thigh cuffs impede fluid shifts during simulated microgravity / K. Lindgren et al. // Aviat. Space Environ. Med. – 1998. – Vol. 69. – P. 1052–1058.

## PHYSIOLOGICAL BASIS OF THE METHOD OF NEGATIVE PRESSURE BREATHING (NPB) FOR THE CORRECTION OF POSTURAL HEMODYNAMIC CHANGE

Zh.A. Donina<sup>1</sup>, V.M. Baranov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Paolov Institute of Physiology Russian Academy of Sciences, St. Petersburg,

<sup>2</sup>The Institute of General Pathology and Pathophysiology Russian Academy of Medical Sciences, Moscow

The efficiency of negative pressure breathing (NPB) was investigated in anesthetized cats for correction of hemodynamic changes arising at head-down tilt (HDT-30°). The pressure rise observed at HDT in v.cava cranialis and v.jugularis externa testifies to the complicated venous outflow from craniocervical vessels. Application of NPB promoted improvement of venous outflow from vascular system of the head that was shown in pressure reduction in jugular vein and precava to the level corresponding to horizontal position of a body. NPB didn't cause significant changes of system hemodynamics and also of breathing pattern and gas exchange. The established facts allow us to make conclusion about the efficiency of NPB to reduce the risk of venous stagnation development in craniocerebral vessels at head-down tilt.

**Keywords:** head-down tilt, hemodynamics, negative pressure breathing.