

УДК 612.217

## ВЗАИМОЗАВИСИМЫЕ РЕАКЦИИ ДЫХАНИЯ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Ж.А. Дони́на, Н.П. Алекса́ндрова

*ФГБУ «Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН», г. Санкт-Петербург*

Установлено, что пассивное орто- и антиортостатическое воздействие сопровождается разнонаправленными гемодинамическими сдвигами в краниальной и каудальной частях туловища. Изменение основных показателей структуры легких и биомеханических характеристик дыхательного аппарата находится в линейной зависимости от интенсивности сдвигов гемодинамики и имеет противоположную модальность, что свидетельствует о пассивной природе нарушений переходного периода постуральных воздействий, обусловленных преимущественно физическим фактором – гравитационно-зависимым перераспределением жидкостных сред организма.

**Ключевые слова:** постуральные воздействия, гемодинамика, структура легких, биомеханические характеристики дыхательного аппарата.

**Введение.** Изменения положения тела относительно вектора гравитации (постуральные воздействия) сопровождаются перераспределением жидкостных сред организма, в т.ч. и объемов крови, в соответствии с направлением гидростатических сил в сосудистой системе. Важным последствием перераспределения крови являются взаимообусловленные реакции со стороны различных висцеральных систем организма и прежде всего в сердечно-сосудистой и дыхательной системах. Изучение закономерностей возникновения и особенностей протекания компенсаторных реакций в системах дыхания и кровообращения при постуральных воздействиях имеет большое значение для врачей-клиницистов, водолазных врачей и особенно специалистов космической медицины. В частности, в практике космической медицины антиортостатическая гипокинезия используется в качестве функциональной пробы для воспроизведения и изучения последствий перераспределения крови в краниальном направлении, характерного для условий невесомости. К настоящему времени установлено, что в начальный период невесомости приток крови в верхнюю половину тела возрастает, увеличивается кровенаполнение торакальной области и легочных сосудов. Изменение ус-

ловий кровообращения в легких влияет на функцию внешнего дыхания в целом: происходит перестройка структуры легочных объемов, изменение эластических характеристик легких, градиента внутриплеврального давления и биомеханики дыхания [10].

Следует отметить, что основное внимание исследователей направлено в большей мере на изучение долговременных адаптивных реакций органов и систем. Вместе с тем первичные (преходящие) проявления со стороны дыхательной и сердечно-сосудистой систем в значительной степени определяют состояние гемодинамики у космонавтов в остром периоде адаптации к невесомости. Первоначальные нарушения являются пусковым моментом для последующей цепи реакций, от которых зависит характер и степень выраженности компенсаторных механизмов, направленных на приспособление организма к изменившимся условиям кровообращения [3].

Поскольку механические свойства легких непосредственно связаны с объемом крови в легочных капиллярах [7, 10, 12], то оценку функционального состояния респираторной системы при различной ориентации тела в гравитационном поле необходимо проводить с учетом изменения кровообращения в сосудах легких.

**Цель исследования.** Выяснение зависимости структуры легочных объемов и механических характеристик дыхательного аппарата от сдвигов центральной гемодинамики в переходной фазе орто- и антиортостатических воздействий.

**Материалы и методы.** Эксперименты проведены на 18 наркотизированных (уретан 1000 мг/кг) трахеостомированных кошках массой тела 3,5–4,0 кг с соблюдением основных норм и правил биомедицинской этики.

Для регистрации венозного и артериального давления (АД) по общепринятой методике проводилась катетеризация передней поллой вены (ЦВД), наружной яремной (Ряр.в.), бедренной вены и бедренной артерии. Катетеры для регистрации давлений в яремной и бедренной венах были оснащены тройниками, что позволяло регистрировать давление без нарушения кровотока в этих сосудах. В качестве антикоагулянта животным внутривенно вводился гепарин из расчета 1000 Ед/кг. Для измерения артериального и венозных давлений у животных использовались преобразователи давлений типа ПДП-300 и ПДП-1000. После окончания экспериментов проводилась калибровка датчиков давлений с использованием водяного (для венозных давлений) и ртутного манометров (для артериального давления). Расчет абсолютных значений зарегистрированных показателей проводился с учетом калибровочных данных.

Регистрация параметров дыхания производилась с использованием метода общей плетизмографии тела, который позволял определять функциональную остаточную емкость легких (ФОЕ) и их растяжимость (compliance, C). Графическая регистрация производилась на самописце шлейфного осциллографа Н-145.

Орто- (ОП +30°, +75°) и антиортостатические (АОП -6°, -15°, -30°) воздействия – изменение положения тела относительно вектора гравитации – осуществляли при помощи поворотного стола, на котором был укреплен плетизмограф с размещенным в нем животным. В ходе эксперимента производилась синхронная регистрация артериального и венозных давлений в краниальной и каудаль

ной частях тела, дыхательного объема (ДО), внутригрудного давления (ВГД) – параметров, необходимых для расчета ФОЕ и С. Длительность экспозиции на каждой ступени составляла 1 мин.

Статистическая обработка данных производилась компьютерными средствами с использованием программы Microsoft Excel. Вычисляли среднюю величину и ошибку средней регистрируемых показателей. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Полученные данные показали, что пассивный переход из горизонтального в АОП и ОП сопровождался разнонаправленными гемодинамическими сдвигами в каудальной и краниальной частях туловища (рис. 1).

В переходном периоде ортостатического положения давление в бедренной артерии увеличилось на 7 % ( $p > 0,05$ ), бедренной вене – на 60 % ( $p < 0,05$ ); тогда как в передней поллой и наружной яремной венах давление снизилось на 540 % и 480 % ( $p < 0,001$ ) соответственно по сравнению с горизонтальным положением. В АОП в бедренной артерии давление снизилось только на 1 % ( $p > 0,05$ ), а в бедренной вене – на 60 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с горизонтальным положением. В передней поллой и наружной яремной венах давление увеличилось на 200 и 102 % ( $p < 0,05$ ) соответственно.

Как следует из представленных результатов, пассивный переход из горизонтального в орто- и антиортостатическое положения сопровождается разнонаправленными гемодинамическими сдвигами в краниальной и каудальной частях туловища.

В антиортостатической пробе динамика венозных давлений в передней поллой и яремной венах имела противоположную направленность: в ОП наблюдалось снижение, а в АОП – увеличение значения этих показателей. Как видно из представленных графиков, в системе низкого давления (рис. 1Б–Г) происходили более существенные сдвиги, чем в системе высокого давления – в бедренной артерии (рис. 1А).

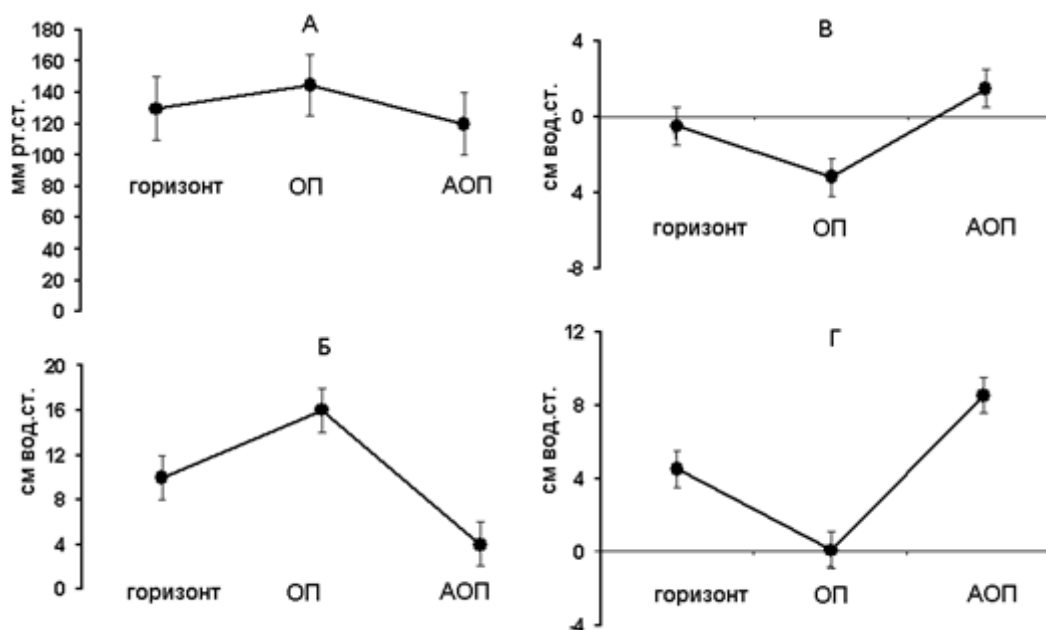


Рис. 1. Влияние постральных воздействий на гемодинамику в краниальной и каудальной частях тела.

По оси абсцисс:

горизонтальное положение, ортостатическое положение (ОП +75°),  
антиортостатическое положение (АОП -30°).

По оси ординат:

давление в бедренной артерии, мм рт. ст. (А); в бедренной вене, см вод. ст. (Б);  
в передней полой вене, см вод. ст. (В); в наружной яремной вене, см вод. ст. (Г)

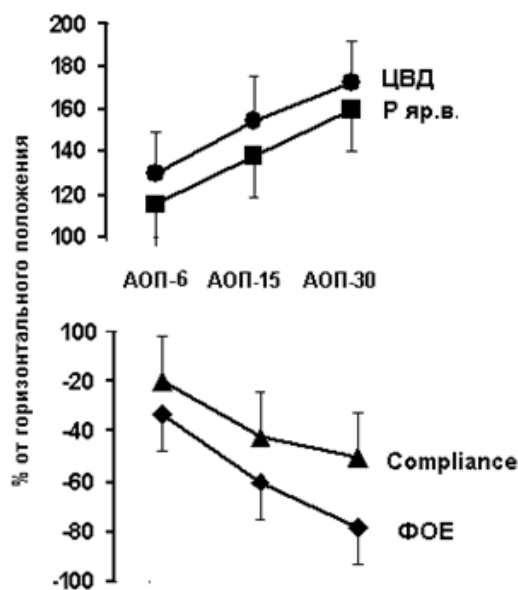
Таким образом, полученные результаты выявили разнонаправленные гемодинамические сдвиги при орто- и антиортостатическом воздействии, что свидетельствует об адекватности выбранной нами модели для дальнейшего исследования постральных влияний на реакции кардио-респираторной системы.

На следующем этапе работы было проведено исследование влияния циркуляторных сдвигов на механические свойства и структуру легочных объемов в переходном периоде постральных воздействий. Как следует из рис. 2, 3, динамика ФОЕ и compliance в условиях орто- и антиортостатического воздействия имела противоположную от гемодинамических сдвигов направленность.

Так, в антиортостатическом положении с постепенным ростом угла наклона от  $-6^\circ$  до  $-30^\circ$  увеличение давлений в яремной и передней полой венах сопровождалось одновременным уменьшением растяжимости легких и снижением ФОЕ (рис. 2). Переход из горизонтального в ортостатическое положение с углами  $+30^\circ$  и  $+75^\circ$  сопровождался снижением ЦВД и Ряр.в. и параллельным увеличением compliance и ФОЕ (рис. 3).

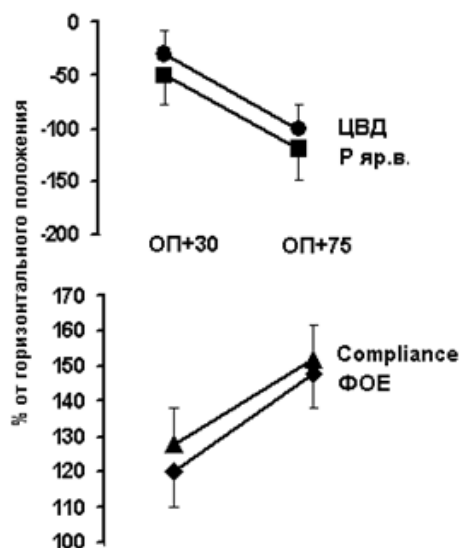
Полученные данные свидетельствуют о взаимосвязанных реакциях, происходящих в системах дыхания и кровообращения при постральных воздействиях. Выраженность изменений функциональной остаточной емкости и растяжимости легких обусловлена степенью проявления гемодинамических сдвигов и имеет линейную зависимость от их интенсивности.

Результаты, полученные при исследовании реакций кровообращения, связанных с пассивным ступенчатым переходом из горизонтального в орто- и антиортостатическое положения, свидетельствуют о том, что первоначальные гемодинамические сдвиги в переходном периоде постральных воздействий обусловлены физической природой – гравитационно-зависимым перераспределением жидких сред организма [2, 6, 8, 9]. Поскольку характер изменений функциональной остаточной емкости и растяжимости легких при постральных воздействиях находился в прямой зависимости от изменений условий кровообращения, то одним из основных факторов, приводящим к сдвигам показателей респираторной системы, является из-



**Рис. 2.** Зависимость структуры легочных объемов и биомеханических характеристик дыхательного аппарата от гемодинамических реакций при антиортостатической пробе различной интенсивности.

По оси абсцисс:  
интенсивность антиортостатического воздействия,  
угол наклона тела по отношению к горизонту.  
По оси ординат:  
изменение величин регистрируемых параметров  
в процентах к фону (горизонтальное положение)



**Рис. 3.** Зависимость структуры легочных объемов и биомеханических характеристик дыхательного аппарата от гемодинамических реакций при ортоостатической пробе различной интенсивности.

По оси абсцисс:  
интенсивность ортоостатического воздействия,  
угол наклона тела по отношению к горизонту.  
По оси ординат:  
изменение величин регистрируемых параметров  
в процентах к фону (горизонтальное положение)

менение кровенаполнения легких. Пусковым механизмом для включения нейро-гуморальных компенсаторных реакций системы дыхания в этих условиях является, по всей вероятности, перераспределение жидкостных сред организма и связанная с этим перестройка гемодинамики.

Помимо этого, значительное влияние на структуру легочных объемов при постуральных воздействиях оказывает действие таких механических факторов, как смещение грудной клетки, диафрагмы и органов брюшной полости, что отражается на легочных объемах, динамике внутригрудного давления и эластической тяге легких [1, 4, 5, 11].

**Заключение.** Исследование зависимости первоначальных изменений механических характеристик легких, структуры легочных объемов от гемодинамических сдвигов при постуральных воздействиях обнаружило линейную взаимосвязь, что свидетельствует о пассивной природе выявленных нарушений, обусловленных в основном физическим фактором – изменением гидростатического компонента давления крови. В дальнейшем компенсаторные реакции функции дыхания и циркуляторный гомеостаз обеспечиваются нервными и гуморальными регуляторными механизмами.

1. Baranov V. M. The external respiration and gas exchanges in space missions / V. M. Baranov, M. A. Tihonov, A. N. Kotov // *Acta astronaut.* – 1992. – Vol. 27. – P. 45–50.

2. Butler G. C. Cardiovascular response to 4 hours of 6 degrees head-down tilt or of 30 degrees head-up tilt bed rest / G. C. Butler, H. C. Xing, R. L. Hughson // *Aviat., Space and Environ. Med.* – 1990. – Vol. 61, № 3. – P. 240–246.

3. 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.

4. Effect of gravity and posture on lung mechanics / D. Bettinelli [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2002. – Vol. 93, № 6. – P. 2044–2052.

5. Effect of gravity on chest wall mechanics / D. Bettinelli [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2002. – Vol. 92. – P. 709–716.

6. Effects of 12 days exposure to simulated microgravity on central circulatory hemodynamics in the rhesus monkey / V. Convertino [et al.] // *Acta Astronautica.* – 1998. – Vol. 42. – P. 255–263.

7. Haouzi P. Respiratory effects of changing the volume load imposed on the peripheral venous

system / P. Haouzi, H. Bell // *Respir. Physiol. Neurobiol.* – 2010. – Vol. 171, № 3. – P. 175–180.

8. Regulation of body fluid compartments during short-term spaceflight / C. Leach [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 1996. – Vol. 81. – P. 105–116.

9. Steep head-down tilt has persisting effects on the distribution of pulmonary blood flow / A. Henderson [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2006. – Vol. 101, № 2. – P. 583–589.

10. *Toska K.* Dynamic time course of hemodynamic responses after passive head-up tilt and tilt

back to supine position / K. Toska, L. Walloe // *J. Appl. Physiol.* – 2002. – Vol. 92. – P. 1671–1676.

11. *West J. B.* Chest volume and shape and intrapleural pressure in microgravity / J. B. West, G. K. Prisk // *J. Appl. Physiol.* – 1999. – Vol. 87. – P. 1240–1241.

12. *Wieling W.* Extracellular fluid volume expansion in patients with posturally related syncope / W. Wieling, J. J. van Liehout, H. Ten // *Clin. Sci. (Colch.)*. – 1998. – Vol. 94. – P. 347–352.

## INTERSYSTEM CORRELATION OF RESPIRATION AND HEMODYNAMICS DURING POSTURAL CHANGES

Zh.A. Donina, N.P. Aleksandrova

*Pavlov Institute of Physiology Russian Academy of Sciences*

The effects of passive head-up and head-down tilting on intersystem correlation respiration and hemodynamics were investigated in anesthetized spontaneously breathing cats. Studies have shown that marked changes in circulation, functional residual capacity and compliance occur within the first minutes of postural change. Changes in circulatory and respiratory modulation throughout postural test were opposite and linearly related to the sine of the tilt angle. This data indicate that the primarily changes in cardiorespiratory system were influenced by the blood distribution dependent from hydrostatic effect of gravity.

**Keywords:** postural changes, circulatory and respiratory modulation, hydrostatic effect of gravity.