

УДК 612.176

**Н. К. Саваневский<sup>1</sup>, Г. Е. Хомич<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина  
e-mail: [medicine@brsu.brest.by](mailto:medicine@brsu.brest.by)

## **СОСУДОДВИГАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ НАХОЖДЕНИИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ**

*Импедансометрическим методом у девушек при постуральных воздействиях определялся тонус мелких кровеносных сосудов ног по амплитуде револвны большого пальца ноги и тонус крупных кровеносных сосудов по амплитуде револвны голени. В результате выполнения ортостатической пробы обнаружены однонаправленные констрикторные реакции мелких и крупных сосудов нижних конечностей. При нахождении в антиортостатическом положении выявлены три типа реакций кровеносных сосудов ног: одновременное расширение микро- и макрососудов; дилатация только крупных сосудов и отсутствие расширения микрососудов; уменьшение тонуса и расширение только крупных кровеносных сосудов и увеличение тонуса и сужение микрососудов.*

### **Введение**

В процессе обычной жизнедеятельности человек, даже не занимающийся физкультурой и спортом, многократно изменяет положение своего тела в пространстве. Переходя из горизонтального положения в вертикальное, т. е. вставая, он фактически выполняет ортостатическую пробу (ОП), а ложась из вертикального положения, осуществляет клинорстатическую пробу. Указанные пробы, проводимые активно, т. е. с участием мышц, или пассивно с помощью поворотного стола, широко используются при тестированиях сердечно-сосудистой системы спортсменов, а также активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [1]. Гораздо реже человек бывает в положении, когда его краниальная часть тела находится ниже брюшной части тела и нижних конечностей, т. е. в так называемом антиортостатическом положении. В спорте такие положения кратковременно наблюдаются в акробатике, гимнастике, фристайле, прыжках в воду с трамплина и др.

Изменения положения тела человека вызывают гравитационное (под действием силы тяготения Земли) перераспределение крови, оказывающее выраженное действие на весь организм. Интенсивность и продолжительность эффектов от такого воздействия зависит как от характеристик самого воздействия, так и от состояния организма. Эти возможности используются в лечебной физкультуре. Такие «постуральные действия», оказывающие положительный оздоровительный эффект как на отдельные системы, так и на организм в целом, получили заслуженное признание и распространение для профилактики и реабилитации больных с различными заболеваниями. При этом направленное применение постуральных воздействий (ПВ) позволяет вызывать значимые положительные и специфичные реакции организма [2].

При переходе из горизонтального положения в вертикальное увеличивается общее периферическое сопротивление сосудов, частота сердечных сокращений и артериальное давление, уменьшается систолический и минутный объем крови. Это объясняется включением компенсаторных физиологических механизмов, направленных на сохранение венозного возврата при действии силы тяжести на жидкие среды организма в вертикальном положении [3; 4].

В норме у здоровых лиц выполнение ОП приводит к небольшим физиологическим сдвигам со стороны сердечно-сосудистой системы [5]. Действие силы тяжести затрудняет возврат крови к сердцу из расположенных ниже этой точки вен, в которых

даже у здоровых лиц при расслабленных мышцах нижних конечностей дополнительно задерживается от 500 до 1 000 мл крови, уменьшая объем циркулирующей крови в среднем на 10 % [6]. Компенсация этого неблагоприятного воздействия осуществляется в первую очередь за счет учащения сердечных сокращений. Кроме того, важное значение имеют и изменения сосудистого тонуса. Специальные исследования показали, что приспособительные гемодинамические реакции в ответ на ортостаз обеспечиваются повышением активности симпатoadреналовой системы [7].

При переходе человека из горизонтального положения в положение головой вниз, т. е. при выполнении антиортостатической пробы (АОП), происходит возрастание венозного возврата крови к сердцу по системе вен нижних конечностей и брюшной полости. При этом возникает гравитационное перераспределение масс крови. Приток крови к головной части тела по магистральным артериям при выполнении АОП облегчен, а отток по венам затруднен [8; 9]. В кровеносных сосудах нижних конечностей наблюдается противоположная картина. Повышение регионарного венозного давления уже на первых секундах антиортостатической нагрузки вызывает включение компенсаторных механизмов по типу веноулярно-артериолярных эффектов. Эти механизмы ограничивают приток крови к головному мозгу, предохраняя его от венозного застоя и отека [10].

В информационном обзоре [2] делается вывод, что гемодинамические реакции обусловлены значительным перераспределением крови в организме и при этом во многом противоположны для ортостатических и антиортостатических ПВ. Однако физиологические основы процессов, происходящих при динамически изменяющемся положении тела человека, до конца не изучены. В связи с этим целью исследования явилось изучение сосудодвигательных реакций мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей на поструральные воздействия.

#### **Объект и методика исследования**

По методике А. А. Астахова [11] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр» импедансометрическим способом исследовался тонус кровеносных сосудов нижних конечностей у нетренированных девушек возрастом 19–22 лет. Обследуемая девушка во время эксперимента помещалась на электродное одеяло, закрепленное вместе с девушкой на поворотном столе. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью реографа Р4-02. С реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр», где производилась их компьютерная обработка.

В качестве функциональной дозированной нагрузки на кровеносную систему применялась пассивная 5-минутная ОП под углом  $90^\circ$  к горизонту. АОП в положении тела лежа на спине вниз головой под углом  $30^\circ$  к горизонту длилась 2 минуты. Интервалы для восстановления после каждого из положений составляли 5 минут.

Определение исходного тонуса мелких кровеносных сосудов (микрососудов) осуществлялось с каждым ударом пульса по значениям амплитуды реоволны большого пальца ноги (АРП), а крупных кровеносных сосудов (макрососудов) – по значениям амплитуды реоволны голени (АРГ). Измерение этих гемодинамических показателей проводилось в течение 5-й минуты пассивного выполнения испытуемым ОП, 2-й минуты выполнения АОП и 5-й минуты восстановления, которое осуществлялось после каждой ортостатической или антиортостатической пробы. При нормальном тонусе и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет 80–150 мОм, а АРГ – 80–130 мОм. При повышении тонуса сосудов и их сужении значения АРП и АРГ значительно уменьшаются, а при снижении тонуса и расширении сосудов величины АРП и АРГ возрастают – 150 и 130 мОм соответственно [12].

Для статистической обработки полученных результатов был использован соответствующий пакет программы Microsoft Office Excel.

### Результаты и их обсуждение

В предыдущих исследованиях [13] было установлено, что изменения гемодинамики в нижних конечностях при постуральных воздействиях во многом зависят от фоновое состояние мелких и крупных кровеносных сосудов ног, что характерно и для других сосудистых регионов [14]. В связи с этим для участия в эксперименте были отобраны девушки, имевшие примерно одинаковый (в данном случае фоновый высокий) тонус микро- и макрососудов ног со значениями АРП ниже 25 мОм и АРГ – ниже 35 мОм соответственно.

В результате проведенных исследований было обнаружено, что у 37 девушек из 40, участвовавших в эксперименте, наблюдались компенсаторные сосудодвигательные реакции на ортостатическую пробу. Эти реакции проявлялись в увеличении тонуса и сужении мелких и крупных сосудов ног, о чем судили по уменьшению значений АРП и АРГ, что уменьшало гравитационный отток крови от головной части тела. У трех девушек обнаружена дистоническая реакция на ОП, т. е. тонус кровеносных сосудов ног уменьшался и они расширялись. В результате у девушек наблюдались «мушки перед глазами» и головокружение. Эти три девушки были освобождены от дальнейшего участия в эксперименте.

При выполнении АОП у девушек были выявлены три разнохарактерные компенсаторные реакции микро- и макрососудов нижних конечностей, препятствующие чрезмерному притоку крови к головной части тела.

У большинства девушек ( $n = 19$ , или 51,4 %) наблюдались однонаправленные сосудорасширяющие реакции мелких и крупных сосудов ног, что отражалось на увеличении значений АРП и АРГ. В таблице 1 приведены результаты измерений АРП и АРГ у одной из девушек первой группы при выполнении ОП, АОП и восстановлении после этих ПВ.

Таблица 1. – Значения АРП и АРГ в покое, при выполнении ОП, АОП и восстановлении у одной из девушек первой группы

№ серии	Положение в пространстве	АРП ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )	АРГ ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )
1	Горизонтальное положение (фон)	24,52 ± 0,29	16,75 ± 0,19
2	ОП	13,31 ± 0,27*	9,44 ± 0,16*
3	Горизонтальное положение после ОП	25,21 ± 0,41	16,56 ± 0,31
4	АОП	35,26 ± 0,53*	27,74 ± 0,23*
5	Горизонтальное положение после АОП	24,77 ± 0,38	17,49 ± 0,29

*Примечание – \* отмечены достоверные различия по отношению к значению исследуемого показателя в горизонтальном положении (фон).*

Как видно из таблицы, перевод девушки с помощью поворотного стола из горизонтального в вертикальное положение, т. е. пассивное выполнение ОП, приводило к компенсаторному сужению мелких и крупных кровеносных сосудов ног, о чем свидетельствует уменьшение на 5-й минуте выполнения ОП средних значений АРП на 45,72 %, а АРГ – на 43,64 % (таблица 1, серия 2).

После выполнения ОП на 5-й минуте восстановления значения АРП и АРГ достоверно не отличались от фона (таблица 1, серия 3).

При нахождении девушки в положении вниз головой под углом 30° к горизонту происходило компенсаторное расширение микро- и макрососудов ног, препятствующее чрезмерному приливу крови к голове, что обнаруживалось по увеличению показателей АРП и АРГ (таблица 1, серия 4). На 2-й минуте АОП по сравнению с фоном средняя величина АРП возросла на 43,8 %, а АРГ – на 65,6 %.

После прекращения выполнения АОП значения АРП и АРГ постепенно восстанавливались и на 5-й минуте достоверно не отличались от фона (таблица 1, серия 5).

У 10 девушек (27,0 %), составивших вторую группу, наблюдалась аналогичная предыдущей группе девушек сосудосуживающая реакция при пассивном выполнении ОП. Так, на 5-й минуте нахождения в ортостазе средняя величина АРП уменьшилась на 80,06 %, а АРГ – на 67,52 % (таблица 2, серия 2).

На 5-й минуте восстановления в горизонтальном положении после выполнения ОП значения АРП и АРГ существенно не отличались (таблица 2, серия 3) от наблюдавшихся в контроле.

Иными оказались сосудодвигательные реакции нижних конечностей испытуемых этой группы при пассивном выполнении антиортостатической пробы.

Таблица 2. – Значения АРП и АРГ в покое, при выполнении ОП, АОП и восстановлении у одной из девушек второй группы

№ серии	Положение в пространстве	АРП ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )	АРГ ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )
1	Горизонтальное положение (фон)	6,77 ± 0,14	19,86 ± 0,16
2	ОП	1,35 ± 0,11*	6,45 ± 0,19*
3	Горизонтальное положение после ОП	6,64 ± 0,17	19,4 ± 0,18
4	АОП	6,81 ± 0,16	28,9 ± 0,21*
5	Горизонтальное положение после АОП	6,72 ± 0,15	19,95 ± 0,19

Примечание – \* отмечены достоверные различия по отношению к значению исследуемого показателя в горизонтальном положении (фон).

Так, на 2-й минуте нахождения в антиортостатическом положении не наблюдалось достоверного изменения тонуса микрососудов, но при этом существенно уменьшался тонус и увеличивался просвет магистральных сосудов ног. Подтверждением этому являлось увеличение АРГ на 45,5 % (таблица 2, серия 4). Следовательно, у девушек из второй группы в компенсаторном противодействии гравитационным перемещениям крови в АОП участвуют только крупные кровеносные сосуды нижних конечностей.

На 5-й минуте восстановления после выполнения АОП значения АРП и АРГ достоверно не отличались от фона (таблица 2, серия 5).

У 8 девушек (21,6 %) 3-й группы, так же как и 1-й и 2-й групп, при нахождении в ортостазе происходило сужение мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. Об этом свидетельствовало уменьшение АРП на 66,3 %, а АРГ – на 44,6 % (таблица 3, серия 2). На 5-й минуте восстановления после выполнения ОП значения АРП и АРГ достоверно не отличались от фона (таблица 3, серия 3). Выполнение АОП девушками этой группы приводило к компенсаторной сосудорасширяющей реакции микрососудов при отсутствии достоверных изменений тонуса крупных кровеносных

сосудов нижних конечностей. В таблице 3 приведены средние значения АРП и АРГ, измеренные с каждым ударом пульса у одной из девушек 3-й группы.

Как видно из таблицы, на 2-й минуте выполнения АОП средняя величина АРП возрастала в 4,9 раза, при отсутствии достоверных изменений АРГ (таблица 3, серия 4). Значительное увеличение АРП указывает на вазодилатацию и увеличение объема депонированной крови в микрососудистом русле. Это свидетельствует о том, что у девушек из третьей группы в компенсаторном противодействии перемещению крови в сосудах под действием силы тяжести при нахождении в АОП участвуют только мелкие кровеносные сосуды нижних конечностей.

Таблица 3. – Значения АРП и АРГ в покое, при выполнении ОП, АОП и восстановлении у одной из девушек третьей группы

№ серии	Положение в пространстве	АРП ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )	АРГ ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )
1	Горизонтальное положение (фон)	14,27 ± 0,16	18,52 ± 0,19
2	ОП	4,79 ± 0,17*	10,26 ± 0,25*
3	Горизонтальное положение после ОП	13,59 ± 0,26	18,21 ± 0,21
4	АОП	10,77 ± 0,40*	31,1 ± 0,33*
5	Горизонтальное положение после АОП	14,38 ± 0,21	20,09 ± 0,48

*Примечание – \* отмечены достоверные различия по отношению к значению исследуемого показателя в горизонтальном положении (фон).*

После прекращения выполнения АОП на 5-й минуте восстановления значения АРП и АРГ достоверно не отличались от фона (таблица 3, серия 5).

### **Заключение**

1. В ортостатическом положении при отсутствии дистонических проявлений тонуса сосудов происходят сосудосуживающие компенсаторные реакции мелких и крупных кровеносных сосудов ног, препятствующие чрезмерному оттоку крови от краниальной части тела, что согласуется с данными литературы [8; 9].

2. Выявлены три типа компенсаторных реакций мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей при нахождении человека в антиортостатическом положении. Более часто встречается однонаправленная реакция снижения тонуса и расширения одновременно микро- и макрососудов ног, повышающая кровенаполнение нижних конечностей и препятствующая чрезмерному притоку крови к сердцу и головной части тела.

3. Реже при выполнении АОП встречаются два других типа компенсаторных реакций, в одном из которых депонирование крови и препятствие чрезмерному притоку к краниальной части тела берут на себя только крупные кровеносные сосуды, а в другом – только мелкие сосуды нижних конечностей.

4. Можно предположить, что компенсаторные антигравитационные сосудорасширяющие реакции одновременно мелких и крупных сосудов ног более физиологичны и адекватны для организма в положении, когда голова человека находится ниже остальной части тела. Косвенным подтверждением этому является большее число девушек с таким типом компенсаторных реакций, обнаруженное в проведенном нами эксперименте.

5. Определение типа компенсаторных антигравитационных сосудодвигательных реакций может оказаться полезным при организации тренировочного процесса у гимна-

стов, акробатов и в других видах спорта, где спортсмену какое-то время следует находиться в антиортостатическом положении.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский, Р. М. Введение в донозологическую диагностику / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Слово, 2008. – 176 с.
2. Влияние постуральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма / Г. А. Софронов [и др.] // Мед. академ. журн. – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 38–51.
3. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Медицина, 1997. – 236 с.
4. Усов, Г. В. Анализ показателей гемодинамики у студентов с различным уровнем двигательной активности по данным импедансной реографии / Г. А. Усов // Изв. Челяб. науч. центра. – 2005. – № 2 (28). – С. 110–114.
5. Fessel, J. Orthostatic Hypertension: when pressor reflexes overcompensate / J. Fessel, D. Robertson // Clinical Practice Nephrology. – 2006. – № 2. – P. 424–431.
6. Robertson, D The pathophysiology and diagnosis of orthostatic hypotension / D. Robertson // Clinical Auton. Res. – 2008. – № 18. – P. 2–7.
7. Balueva, T. V. Effects of the endothelial relaxing factor on the orthostatic reaction of systemic hemodynamics in rats / T. V. Balueva, I. V. Sergeev, L. I. Osadchiy // Aviakosm. Ekolog. Med. – 2003. – № 37. – P. 27–29.
8. Осадчий, Л. И. Сосудистые факторы ортостатических реакций системной гемодинамики / Л. И. Осадчий, Т. В. Балуева, И. В. Сергеев // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2003. – № 3. – С. 339–346.
9. Осадчий, Л. И. Гемодинамическая структура антиортостатических реакций: соотношение механической активности сердца и артериальное давление / Л. И. Осадчий, Т. В. Балуева, И. В. Сергеев // Авиакосм. и экол. медицина. – 1997. – Т. 31, № 3. – С. 19–23.
10. Адаптация организма человека к моделированной невесомости: клинические исследования / Э. И. Мацнев [и др.] // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 102–107.
11. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – 330 с.
12. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.
13. Саваневский, Н. К. Реакции кровеносной системы на изменение положения тела человека в пространстве / Н. К. Саваневский, Г. Е. Хомич // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навуки аб зямлі. – 2011. – № 2. – С. 53–57.
14. Исупов, И. Б. Системный анализ церебрального кровообращения человека / И. Б. Исупов. – Волгоград : Перемена, 2001. – 138 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 09.01.2020

#### **Savaneuski M. K., Khomich H. E. Vasomotor Reactions of Blood Vessels of the Lower Extremities when the Human Body is in an Antiorthostatic Position**

*When performing an orthostatic test, unidirectional constrictor reactions of small and large vessels of the lower extremities were detected. When in an anti-orthostatic position, three types of reactions of blood vessels in the legs were detected: simultaneous expansion of micro- and macro-vessels; dilation of only large vessels and absence of microvessel expansion; reduction of tone and expansion of only large blood vessels and increase in tone and narrowing of microvessels.*