

УДК 612.176

Н. К. Саваневский¹, Г. Е. Хомич²

^{1,2}канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: 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 клинортостатическую 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 симпатoadренальной 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 постуральные 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° к горизонту. АОП в положении тела лежа на спине вниз головой под углом 30° 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)	$24,52 \pm 0,29$	$16,75 \pm 0,19$
2	ОП	$13,31 \pm 0,27^*$	$9,44 \pm 0,16^*$
3	Горизонтальное положение после ОП	$25,21 \pm 0,41$	$16,56 \pm 0,31$
4	АОП	$35,26 \pm 0,53^*$	$27,74 \pm 0,23^*$
5	Горизонтальное положение после АОП	$24,77 \pm 0,38$	$17,49 \pm 0,29$

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 возрастала 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)	$6,77 \pm 0,14$	$19,86 \pm 0,16$
2	ОП	$1,35 \pm 0,11^*$	$6,45 \pm 0,19^*$
3	Горизонтальное положение после ОП	$6,64 \pm 0,17$	$19,4 \pm 0,18$
4	АОП	$6,81 \pm 0,16$	$28,9 \pm 0,21^*$
5	Горизонтальное положение после АОП	$6,72 \pm 0,15$	$19,95 \pm 0,19$

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)	$14,27 \pm 0,16$	$18,52 \pm 0,19$
2	ОП	$4,79 \pm 0,17^*$	$10,26 \pm 0,25^*$
3	Горизонтальное положение после ОП	$13,59 \pm 0,26$	$18,21 \pm 0,21$
4	АОП	$10,77 \pm 0,40^*$	$31,1 \pm 0,33^*$
5	Горизонтальное положение после АОП	$14,38 \pm 0,21$	$20,09 \pm 0,48$

*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. Навукі 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.