

УДК 612.176

**Н.К. Саваневский<sup>1</sup>, Г.Е. Хомич<sup>2</sup>, Е.Н. Саваневская<sup>3</sup>**<sup>1</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>2</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>3</sup>магистр биол. наук, преподаватель каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкинаe-mail: [medicine@brsu.brest.by](mailto:medicine@brsu.brest.by)**ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПРИ НАХОЖДЕНИИ ЧЕЛОВЕКА ПОД РАЗНЫМИ УГЛАМИ К ГОРИЗОНТУ**

*Представлены результаты анализа изменений тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов ног, частоты сердечных сокращений у девушек при различном их положении в пространстве. Установлено, что в положении головы вверх под разными углами к горизонту у девушек происходит сужение мелких и крупных кровеносных сосудов ног. В положении головы вниз чаще всего происходит уменьшение тонуса и дилатация кровеносных сосудов нижних конечностей.*

**Введение**

Различное положение тела человека в гравитационном поле Земли под действием силы тяжести вызывает перераспределение крови в сосудистой системе. Следствием перемещения объемов крови являются функциональные реакции со стороны показателей общей гемодинамики, функционирования сердца и кровообращения в отдельных органах. Наиболее полно физиологические реакции сердечно-сосудистой системы были изучены при переходе из горизонтального в вертикальное положение, т.е. при выполнении ортостатической пробы [1].

Антиортостатическая проба (АОП), т.е. перевод испытуемого из горизонтального положения в положение головы вниз, в отличие от ортостатической пробы (ОП), менее изучена, так как стала применяться лишь недавно. В случае антиортостаза имеет место перераспределение крови в краниальном направлении, к голове и органам грудной клетки. При этом угол наклона «головой вниз» в таких экспериментах обычно не превышал 10–15°, хотя выполнялись исследования и при больших углах наклона, вплоть до 90° [2].

Интенсивность и продолжительность эффектов от такого воздействия зависит как от угла наклона человека, так и от его функционального состояния [2]. В условиях положения человека головой вниз к уровню горизонта, т.е. при выполнении антиортостатической пробы, наблюдается рефлекторное уменьшение общего периферического сопротивления сосудов, наступает расширение периферических кровеносных сосудов [3]. АОП позволяет исследовать изменения кровообращения и сосудистые реакции в организме человека. В условиях антиортостаза 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 [1; 4]. 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 [2]. Однако ре-

акции сердечно-сосудистой системы на пассивную ориентацию организма человека в гравитационном поле еще изучены недостаточно [3].

Целью настоящей работы явилось исследование тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, а также частоты сердечных сокращений у испытуемых при выполнении ими ОП под углами 10, 30, 45, 60, 75 и 90° к горизонту, а также АОП при расположении тела головой вниз под углами 10, 20, 30 и 40° ниже горизонтальной линии.

### **Объект и методика исследований**

В качестве функциональной дозированной нагрузки на кровеносную систему применялась пассивная ортостатическая проба под углами 10, 30, 45, 60, 75 и 90° к горизонту с нахождением в каждом из положений в течение пяти минут. Антиортостатическая проба в положениях тела, лежа на спине вниз головой, под углами 10, 20, 30, 40° к горизонту длилась в каждом из положений по две минуты. Интервалы для восстановления после каждого из положений составляли пять минут.

Исследование выполнено на 14 нетренированных девушках-студентках в возрасте 19–22 лет, не имевших жалоб на состояние сердечно-сосудистой системы. Обследуемая девушка во время эксперимента помещалась на электродное одеяло, закрепленное на поворотном столе. По методике А.А. Астахова [5] на многофункциональном мониторе кровенаполнения и диагностики сердечно-сосудистой системы «Кентавр-1» с каждым ударом пульса регистрировались амплитуда реоволны пальца (АРП), амплитуда реоволны голени (АРГ) и частота сердечных сокращений (ЧСС). Измерение этих гемодинамических показателей проводилось в течение пятой минуты пассивного выполнения испытуемым ОП, второй минуты выполнения АОП и пятой минуты восстановления, которое было после каждой ортостатической или антиортостатической пробы.

Определение исходного тонуса мелких кровеносных сосудов (микрососудов) осуществлялось по значениям АРП, а крупных кровеносных сосудов (макрососудов) – по значениям АРГ. 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 уменьшаются, а при снижении тонуса и расширении сосудов величины АРП и АРГ возрастают выше – соответственно 150 и 130 мОм [6].

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

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В обследуемую группу были отобраны студентки, у которых в состоянии покоя в горизонтальном положении регистрировались близкие показатели АРП и АРГ, соответствующие умеренному сужению мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. Такой отбор был необходим в связи с тем, что в наших более ранних исследованиях [7] были обнаружены разнонаправленные сдвиги показателей АРП и АРГ на изменение положения тела человека в пространстве в зависимости от нормального или дилататорного, или констрикторного состояния кровеносных сосудов ног.

Измерения показали, что в состоянии покоя в горизонтальном положении средняя для отобранной группы испытуемых фоновая величина АРП равнялась  $48,7 \pm 0,26$  мОм, АРГ –  $35,8 \pm 0,11$  мОм, ЧСС –  $76,5 \pm 0,21$  уд./мин. Было установлено, что перевод испытуемых с помощью поворотного стола в положение вниз головой под разными углами к горизонту вызывал достоверные изменения АРП и АРГ, причем величина этих изменений зависела от угла наклона (таблица 1).

Таблица 1. – Показатели АРП, АРГ и ЧСС у испытуемых при выполнении под разными углами антиортостатической пробы

Вариант опыта	АРП, мОм	АРГ, мОм	ЧСС, уд./мин
Горизонтальное положение (фон)	48,7 ± 0,26	35,8 ± 0,11	76,5 ± 0,21
Выполнение АОП под < 10°	54,6 ± 0,43*	39,6 ± 0,12*	75,9 ± 0,29
Восстановление после АОП (< 10°)	46,8 ± 0,28	36,4 ± 0,12	75,6 ± 0,26
Выполнение АОП под < 20°	60,4 ± 1,13*	41,1 ± 0,19*	75,2 ± 0,27
Восстановление после АОП (< 20°)	49,6 ± 0,49	36,1 ± 0,13	77,7 ± 0,27
Выполнение АОП под < 30°	69,1 ± 1,63*	44,7 ± 0,26*	75,1 ± 0,48
Восстановление после АОП (< 30°)	47,2 ± 0,34	36,8 ± 0,14	75,9 ± 0,35
Выполнение АОП под < 40°	93,8 ± 1,95*	81,3 ± 1,67*	75,1 ± 0,46
Восстановление после АОП (< 40°)	50,2 ± 0,33	36,5 ± 0,16	76,8 ± 0,38

Примечание – \* – достоверные изменения по отношению к горизонтальному положению.

Выполнение АОП под < 10° приводило к достоверному увеличению по сравнению с фоном АРП на 12,1 %, что свидетельствовало о компенсаторном антигравитационном расширении микрососудистого кровяного русла. Аналогичные, только более выраженные сосудодвигательные реакции наблюдались при пассивном переводе испытуемого с помощью поворотного стола в положение головой вниз под углами 20, 30 и 40° к горизонту (таблица 1). При АОП под < 20° АРП увеличивалась на 29,1 %, под < 30° – на 39,3 % и под < 40° – на 98,7 %.

Также при выполнении антиортостатических проб наблюдалось снижение тонуса и увеличение просвета магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей, о чем судили по увеличению значений АРГ. Так, при выполнении АОП под < 10° АРГ возрастала на 10,6 %, под < 20° – на 12,9 %, под < 30° – на 23,8 % и под < 40° – на 120,9 % (таблица 1).

Автоматическое измерение ЧСС монитором кровенаполнения «Кентавр-1» за последнюю минуту выполнения АОП и последнюю минуту восстановления не выявило достоверных изменений частоты пульса в АОП под разными углами от регистрируемых в горизонтальном положении (таблица 1).

Динамика изменений АРП и АРГ при пассивном выполнении испытуемыми антиортостатической пробы представлена на рисунке 1.

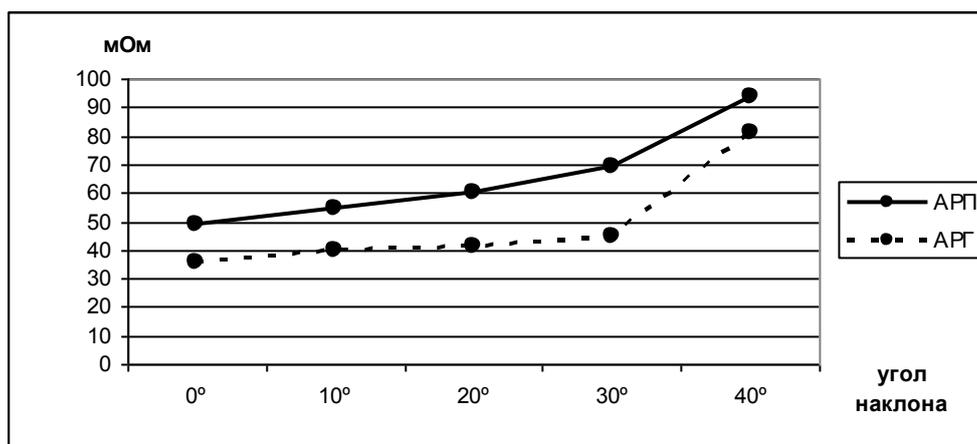


Рисунок 1. – Динамика изменений АРП и АРГ при выполнении АОП

Как видно на графиках (рисунок 1), достоверное увеличение АРП и АРГ происходит уже при достаточно малом угле наклона тела испытуемых в 10° ниже уровня горизонта. Дальнейшее увеличение угла наклона при выполнении АОП приводило к ро-

сту значений АРП и АРГ. Это свидетельствует об усилении с увеличением угла наклона компенсаторных антигравитационных сосудорасширяющих реакций мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей с целью уменьшения чрезмерного притока крови к голове и органам грудной полости.

Противоположные реакции со стороны микро- и макрососудов ног наблюдались при выполнении ортостатической пробы. В состоянии покоя в горизонтальном положении средняя величина АРП равнялась  $49,3 \pm 0,32$  мОм, АРГ –  $35,8 \pm 0,18$  мОм, ЧСС –  $71,3 \pm 0,22$  уд./мин/ (таблица 2). Выполнение ОП под  $< 10^\circ$  не вызывало достоверных изменений значений АРП, АРГ и ЧСС, что, по-видимому, объясняется незначительным углом поднятия тела испытуемых в привычном для человека направлении, т.е. вперед, головой вверх.

Таблица 2. – Показатели АРП, АРГ и ЧСС у испытуемых при выполнении под разными углами ортостатической пробы

Вариант опыта	АРП, мОм	АРГ, мОм	ЧСС, уд./мин
Горизонтальное положение (фон)	$49,3 \pm 0,32$	$35,8 \pm 0,18$	$71,3 \pm 0,22$
Выполнение ОП под $< 10^\circ$	$48,7 \pm 0,47$	$35,7 \pm 0,17$	$72,1 \pm 0,25$
Восстановление после ОП ( $< 10^\circ$ )	$48,8 \pm 0,31$	$37,6 \pm 0,19$	$72,7 \pm 0,28$
Выполнение ОП под $< 30^\circ$	$46,1 \pm 0,33^*$	$27,8 \pm 0,21^*$	$83,6 \pm 0,29^*$
Восстановление после ОП ( $< 30^\circ$ )	$51,3 \pm 0,39$	$38,1 \pm 0,16$	$66,2 \pm 0,24$
Выполнение ОП под $< 45^\circ$	$36,8 \pm 0,43^*$	$22,1 \pm 0,22^*$	$91,3 \pm 0,38^*$
Восстановление после ОП ( $< 45^\circ$ )	$52,9 \pm 0,35$	$37,7 \pm 0,18$	$64,3 \pm 0,23$
Выполнение ОП под $< 60^\circ$	$25,6 \pm 0,55^*$	$17,0 \pm 0,18^*$	$94,1 \pm 0,47^*$
Восстановление после ОП ( $< 60^\circ$ )	$53,2 \pm 0,33$	$35,4 \pm 0,19$	$62,6 \pm 0,27$
Выполнение ОП под $< 75^\circ$	$22,4 \pm 0,38^*$	$16,4 \pm 0,20^*$	$96,3 \pm 0,41^*$
Восстановление после ОП ( $< 75^\circ$ )	$52,8 \pm 0,49$	$34,9 \pm 0,21$	$65,5 \pm 0,27$
Выполнение ОП под $< 90^\circ$	$28,1 \pm 0,36^*$	$16,7 \pm 0,18^*$	$94,0 \pm 0,30^*$
Восстановление после ОП ( $< 90^\circ$ )	$51,6 \pm 0,41$	$35,6 \pm 0,19$	$66,5 \pm 0,31$

*Примечание – \* – достоверные изменения по отношению к горизонтальному положению.*

Дальнейшее увеличение угла подъема с помощью поворотного стола при пассивном выполнении ОП приводило к компенсаторному антигравитационному сужению мелких кровеносных сосудов нижних конечностей с целью противодействия оттоку крови под действием силы тяжести от краниальной части тела. Одновременно при выполнении ортостатических проб происходило уменьшение значений АРГ, также начиная с угла подъема в  $30^\circ$ . При ОП под  $< 30^\circ$  АРГ снизилась по сравнению с фоновым значением на 22,3 %, под  $< 45^\circ$  – на 38,3 %, под  $< 60^\circ$  – на 52,5 %, под  $< 75^\circ$  – на 54,2 %, под  $< 90^\circ$  – на 53,4 % (таблица 2).

Измерение ЧСС с каждым ударом пульса монитором «Кентавр-1» с последующим автоматическим пересчетом частоты сокращений сердца в одну минуту дало следующие результаты. Средняя ЧСС в группе испытуемых в состоянии покоя в горизонтальном положении составляла  $71,3 \pm 0,22$  уд./мин. Пассивное выполнение ОП под  $< 10^\circ$  не вызывало достоверного изменения ЧСС. Дальнейшее увеличение угла подъема в ОП приводило к значимым увеличениям частоты пульса. Так, при выполнении ОП под  $< 30^\circ$  ЧСС возрастала на 17,3 %, под  $< 45^\circ$  – на 28,1 %, под  $< 60^\circ$  – на 32,0 %, под  $< 75^\circ$  – на 35,1 % и под  $< 90^\circ$  – на 31,8 % (таблица 2).

Динамика изменений АРП, АРГ и ЧСС при пассивном выполнении испытуемыми ортостатической пробы представлена на рисунке 2.

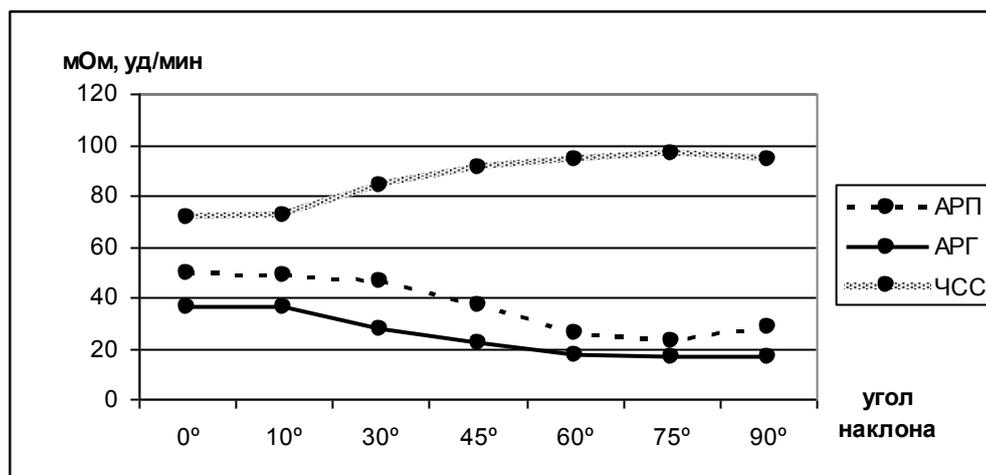


Рисунок 2. – Динамика изменений АРП и АРГ при выполнении ОП

Как видно на графиках (рисунок 2), достоверные изменения АРП, АРГ и ЧСС начинаются при пассивном подъеме тела испытуемых с помощью поворотного стола под углом выше 10°. Наибольшие изменения значений АРП, АРГ и ЧСС достигаются при ОП под < 75°. При вертикальном положении тела, т.е. под < 90°, сдвиги исследуемых показателей по отношению к горизонтальному положению слегка уменьшаются. По-видимому, это можно объяснить тем, что вертикальное положение тела для человека более привычно, чем под < 75°, и к нему сформированы более совершенные адаптационные механизмы.

### Заключение

Таким образом, пассивное выполнение антиортостатических проб вызывает уменьшение тонуса и рефлекторное расширение мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, что проявляется в увеличении значений АРП и АРГ. Это является компенсаторной антигравитационной защитной реакцией сердечно-сосудистой системы с целью уменьшения притока крови к головной части тела человека, находящегося в положении головы вниз по отношению к горизонту. С увеличением угла наклона в АОП от 10 до 40° расширение микро- и макрососудов ног и, соответственно, уменьшение их тонуса приобретает все более существенное значение.

При пассивном выполнении ортостатических проб компенсаторные сосудосуживающие реакции нижних конечностей начинают включаться при угле наклона свыше 10° и достигают максимума при угле наклона в 75°. Эти реакции препятствуют оттоку крови по сосудам от верхней части тела, в первую очередь от головы, под действием силы тяжести.

Необходимо подчеркнуть, что выявленный нами характер компенсаторных антигравитационных реакций микро- и макрососудов ног на ОП и АОП наблюдается в случае их умеренного фонового сужения.

Проведенные нами исследования показали [7], что при ином сочетании фонового тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей сосудодвигательные реакции при изменении положения тела человека в пространстве могут быть другими.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осадчий, Л. И. Сосудистые факторы ортостатических реакций системной гемодинамики / Л. И. Осадчий, Т. В. Балужева, И. В. Сергеев // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2003. – № 3. – С. 339–346.
2. Адаптация организма человека к моделированной невесомости: клинические исследования / Э. И. Мацнев [и др.] // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 102–107.
3. Влияние поструральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма / Г. А. Софронов [и др.] // Мед. академ. журн. – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 38–51.
4. Осадчий, Л. И. Гемодинамическая структура антиортостатических реакций: соотношение механической активности сердца и артериальное давление / Л. И. Осадчий, Т. В. Балужева, И. В. Сергеев // Авиакосм. и экол. медицина. – 1997. – Т. 31, № 3. – С. 19–23.
6. Астахов, А. А. Многофункциональный импедансный мониторинг сердечно-сосудистой системы и легких / А. А. Астахов. – Челябинск, 1989. – 18 с.
7. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.
8. Саваневский, Н. К. Реакции кровеносной системы на изменение положения тела человека в пространстве / Н. К. Саваневский, Г. Е. Хомич // Вестн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2011. – № 2. – С. 53–57.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 06.03.2018

***Savaneuski M.K., Khomich H.E., Savaneuskaya A.N. Alteration of Some Hemodynamic Parameters in Human by Different Angles of Head-Up Tilt***

*Changes in minor and major blood vessels tone as well as in heart rate were analyzed in women by different body positions. According to the results, both types of blood vessels showed an antigravitational vasoconstriction by different angles of head-up tilt. When head-down tilting, the most common reaction of limb blood vessels was dilatation.*