

УДК 612.176

Галина Евгеньевна Хомич

канд. биол. наук, доц., доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Galina Khomich

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Anatomy, Physiology and Human Safety
at the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: medicine@brsu.brest.by

**ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА**

С помощью методики А. А. Астахова проведено исследование некоторых гемодинамических характеристик у человека в положениях лежа на спине и на животе, вниз головой под углом 30°. В ходе эксперимента получены данные, свидетельствующие о различиях в регуляторных механизмах реакций мелких и крупных сосудов ног. Кроме того, в данной работе подтверждено изменение систолического артериального давления в разных положениях тела человека.

Ключевые слова: гемодинамические показатели, регуляторные механизмы, систолическое артериальное давление.

Hemodynamical Parameters by Changes in Human Body Position

Using A. A. Astachov method we estimated some hemodynamic parameters in subjects finding themselves in head-down position leaned 30° to the horizon both with face to the top and to the bottom. Obtained results are evidence of different mechanisms regulating minor and major blood vessels response. Except of this, our findings confirm changes in systolic blood pressure by different orientation of human body.

Key words: hemodynamic parameters, mechanisms regulating, systolic blood pressure.

Введение

Различные изменения физиологических реакций организма лежат в основе общих свойств биологических систем и индивидуальных различий функциональных характеристик организма. Изменение различных показателей для осуществления баланса ритма сердечных сокращений, артериального давления, систолического объема крови, периферического сопротивления различных кровеносных сосудов осуществляется на базе колебаний каждого удара сердца. Изменчивость указанных параметров возможна при взаимосвязи системы кровообращения и регуляторных систем. Характеристика колебаний гемодинамических показателей с каждым сокращением сердечной мышцы является эффективным подходом для постановки диагноза и последующего лечения нарушений регуляторной деятельности сердечно-сосудистой системы.

При осуществлении регуляторных функций системы кровообращения возникает перераспределение определенного объема крови между различными регионами сосудистого русла. В человеческом организме содержится довольно небольшой объем крови в сравнении с огромной анатомической емкостью сосудистого русла. Количество находящейся в сосудистом русле крови в каждом физиологическом состоянии организма обусловлено соотношением между объемами крови в микрососудах и в крупных сосудах, а также в сосудах грудной полости.

Если изменить положение тела в пространстве, то произойдет сдвиг ударного объема, пульсации крови в аорте (гемодинамический сдвиг в центре) и периферической пульсации крови в сосудах голени и сосудах пальцев ног. Эти изменения отражают специфичность рефлексов сердечно-сосудистой системы, в основе которых лежит перераспределение пульсации и связанные с ней изменения частоты сердечных сокращений и артериального давления.

Различные величины амплитуд реоволн большого пальца ноги и голени характеризуют сосудистые рефлексy, а также информируют о функциональном состоянии магистральных сосудов и микрососудов. Кроме того, по величине амплитуды реоволны пальца и голени можно судить об особенностях перераспределения кровенаполнения между указанными сосудами.

При изменении положения тела человека из горизонтального в вертикальное общее периферическое сопротивление сосудов становится больше. Давление крови в артериях и количество сердечных сокращений в положении стоя также увеличивается. А вот систолический и минутный объемы крови, наоборот, уменьшаются. Это связано с появлением компенсаторных физиологических механизмов. Наличие компенсации необходимо для венозного возврата при действии силы тяжести на жидкие среды человеческого организма в положении стоя.

Исследования ученых показали, что компенсаторные приспособительные гемодинамические реакции в ортостатической пробе осуществляются путем повышения деятельности симпатoadренальной системы. Если же перевести человека в антиортостатическое положение, т. е. головой вниз, то возрастает возврат крови к сердцу по венам брюшной полости и ног. Повышение давления крови в региональном венозном русле приводит к тому, что включаются компенсаторные механизмы, которые ограничивают приток крови к верхней половине тела, в т. ч. и к головному мозгу, предохраняя его от появления застоя и образования отека.

На основании большого количества исследований, посвященных гемодинамическим показателям сердечно-сосудистой системы человека [2; 5], можно утверждать, что смена положения тела в пространстве вызывает значительные изменения в деятельности кардиоваскулярной системы. Однако человеку в процессе жизнедеятельности необходимо менять положение тела: наклоняться вперед, прогибаться, занимать положение головой вниз. В таких видах спорта, как гимнастика, прыжки в воду, акробатика тело спортсмена занимает непривычные позы: головой вниз под разными углами, повернув голову лицом вперед и назад, вверх и вниз. Следовательно, для сохранения гомеостаза при смене позы требуется включение компенсаторных механизмов для регуляции деятельности сердечно-сосудистой функции.

В процессе изменения угла наклона к горизонту направление силы гравитации смещается по отношению к направлению движения крови по сосудистому руслу. Данные изменения находят отражение в деятельности системы кровообращения. Так, в случае перехода человеческого тела из положения стоя в положение лежа осуществляется депонирование крови в емкостных сосудах малого таза и нижних конечностей. Естественно, что ввиду низкого тонуса стенок венозных сосудов, а также менее энергичной присасывающей силы сердца при переходе в положение лежа венозный возврат уменьшается. Также снижается и наполнение полостей сердца кровью [3; 5]. При этом в зависимости от тонуса сосудов нижней половины тела возможен разный уровень наблюдаемого депонирования.

В результате смены человеком положения тела с вертикального на антиортостатическое происходит увеличение таких показателей, характеризующих деятельность системы кровообращения, как систолический объем крови, минутный объем крови, а также уменьшение частоты сердечных сокращений и уровня кровяного давления. Исходя из данных, полученных в [5], при расположении тела человека вниз головой значения ударного объема крови растут, а количество сердечных сокращений, наоборот, снижается.

Наличие изменений гемодинамических показателей при ортостатической пробе также играет важную роль для спортсменов, специализирующихся в дисциплинах, связанных с частым изменением положения тела в пространстве. В этой связи важны ис-

следования количественных характеристик системы кровообращения, возникающих при смене ориентации тела к горизонту. В экспериментах на людях, положение тела которых изменяли с горизонтального на вертикальное с использованием поворотного стола, показано достоверное уменьшение систолического объема крови при вертикализации. Ударный объем снижался на 32–42 % по отношению к величине данного объема в положении тела лежа на спине. Указанные количественные изменения регистрировались за счет компенсаторных механизмов, возникающих вследствие учащения сердцебиения. Ввиду этого объем кровообращения в течение минуты незначительно уменьшался. Таким образом, высокое качество регуляции системы кровообращения обеспечивает тот факт, что вставание не приводит к неприятным ощущениям у спортсменов. В случае ухудшения деятельности регуляторных механизмов возникают симптомы ишемии головного мозга, приводящие к потере сознания.

На данный момент сведения, имеющиеся в научной литературе относительно гемодинамики человека при ортостазе, являются неполными. Ученые считают, что при прямостоянии изменения движения крови в мышцах зависит от перечня следующих явлений: 1) раскрытия в мышцах артерио-венозных анастомозов; 2) увеличения кровяного давления в сосудах ног, способствующего растяжению этих сосудов; 3) степени рефлекторного изменения просвета мышечных сосудов; 4) наличия рабочей гиперемии в мышцах нижних конечностей в зависимости от их активности; 5) от появления автоматических регуляторных реакций в сосудах при изменении в них трансмурального давления; 6) других факторов, с помощью которых увеличивается снабжение мышц кровью. Анализ доступных литературных источников также не выявил наличия данных о механизмах гемодинамики при положении тела человека головой вниз. Поэтому целью нашей работы явился сравнительный анализ гемодинамических показателей человека при разных положениях тела в пространстве.

Объект и методика исследования

В качестве испытуемых выступали студенты без патологий сердечно-сосудистой системы. Исследование проводилось по методике А. А. Астахова [1] с использованием многофункционального монитора кровенаполнения «Кентавр». Данная методика позволяет регистрировать одновременно частоту пульса (ЧСС), максимальное артериальное давление (САД), амплитуду револны большого пальца ноги (АРП), амплитуду револны голени (АРГ). По величинам АРП и АРГ можно судить о диаметре и тоне мелкого и крупного кровеносных сосудов нижних конечностей.

Существуют публикации, в которых описана зависимость реакций сосудов у испытуемых в ортостатическом положении от фонового тонуса артерий и исходных значений артериального давления [6; 7]. В связи с этим участники эксперимента были разделены на группы согласно фоновому тону их кровеносных сосудов. Группу, результаты которой анализируются в данной статье, составили студенты с повышенным тоном макро- и микрососудов нижних конечностей в состоянии покоя лежа на спине (АРП = 38,34 мОм и АРГ = 28,49 мОм).

Положение тела испытуемых в пространстве изменяли с помощью поворотного стола. На поворотном столе закреплялось электродное одеяло, на которое укладывали исследуемого. Затем его фиксировали ремнями к поворотному столу со специальными упорами для плеч. Крышка стола могла поворачиваться на разные углы в вертикальной и горизонтальной плоскости. С помощью поворотного стола студента переводили на одну минуту в положение вниз головой. Для связи с прибором испытуемому накладывали ленточные электроды на правое плечо, середину правой голени и большой палец правой ноги, а также электроды размещались на спине, на центральной части груд-

ной клетки в области грудины, плечевых и бедренных отделах конечностей. В качестве функциональной пробы использовали поворот на 1 мин. вниз головой на угол 30° относительно горизонта в положениях лицом вниз и вверх. Интервал между пробами составил 25 мин.

На реографе «Р-4» регистрировался импеданс тканей, по которому с помощью монитора кровенаполнения «Кентавр» рассчитывались показатели амплитуд револны пальца (АРП) и голени (АРГ). Кроме того, с каждым ударом пульса прибор фиксировал величину систолического артериального давления (САД) на правой руке и частоту сердцебиений (ЧСС). Производилась обработка данных, включающая усреднение и оценку достоверности различий.

Статистический анализ различий между выборками проводился с помощью t-критерия Стьюдента или методов непараметрической статистики в случае отклонений распределения от нормальности.

Результаты и их обсуждение

Выявлено, что достоверной разницы между значениями АРП и АРГ в положениях лежа на спине и на животе без наклона к горизонту не наблюдается. Напротив, после перевода испытуемого в антиортостаз лицом вверх зафиксированы достоверные изменения амплитуд револны как для пальца ноги, так и для голени. Так, значение АРП уменьшилось почти в 2,3 раза, а показатели АРГ увеличились на 38 %. При возвращении испытуемых в горизонтальное положение показатели восстанавливались.

Таблица 1. – Сравнение реакций макро- и микрососудов ног при расположении человека вниз головой лежа на спине и на животе

№ серии	Положение тела человека	АРП, мОм		АРГ, мОм	
		$x \pm Sx$	P	$x \pm Sx$	P
1	Горизонтально лежа на спине (фон)	38,09 ± 0,7		27,39 ± 0,6	
2	Лежа на спине вниз головой под углом 30°	16,88 ± 0,9	<0,001	37,81 ± 1,1	<0,001
3	3-я минута восстановления лежа на спине	33,67 ± 1,21	<0,01	29,95 ± 0,9	<0,05
4	Лежа на животе головой вниз под углом 30°	5,69 ± 0,6	<0,001	41,99 ± 0,9	<0,001
5	Горизонтально лежа на животе (фон)	37,97 ± 0,7		28,53 ± 0,7	
6	3-я минута восстановления лежа на животе горизонтально	36,23 ± 1,1	>0,05	29,63 ± 1,0	>0,05

После окончания первой серии эксперимента испытуемые отдыхали 25 мин. Затем им предлагали лечь на живот, адаптироваться к данному положению и регистрировали фоновые показатели АРП и АРГ в новом положении (таблица 1, серия 5). Полученные данные показали, что значения фона АРП и АРГ достоверно не различались при расположении испытуемого лежа на спине и лежа на животе (серия 1, 5).

Когда же испытуемого повернули головой вниз лежа на животе, регистрируемые значения АРП и АРГ значимо изменились. Показатели амплитуды револны большого пальца ноги уменьшились в 6,59 раза, а значения револны голени повысились на 47,4 %. После поворота испытуемого в прежнее фоновое положение произошло быстрое восстановление амплитуд револны большого пальца ноги и голени до фонового уровня.

Кроме того, нами был проведен сравнительный анализ просвета сосудов ног в положениях тела человека лежа на спине вниз головой и лежа на животе вниз головой (таблица 1, серии 2, 4). Между полученными показателями отмечалась достоверная разница.

В целом динамика амплитуд револны пальца и голени дает основание считать, что регуляторные сосудодвигательные механизмы, реализующиеся в нижних конечно-

стях, наиболее выражены у испытуемых, лежащих на животе. Также необходимо отметить, что восстановление первоначального уровня в данном случае происходит быстрее.

Ряд исследований был посвящен характеристике значений частоты сердечных сокращений (ЧСС) и систолического артериального давления (САД) в привычных вертикальном и горизонтальном положениях [3; 5]. Однако изучение указанных показателей сердечно-сосудистой функции в положении человека лежа на спине и на животе в антиортостазе учеными не проводилось.

Таблица 2. – Показатели частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления при изменении положения тела человека вниз головой лежа на спине и лежа на животе

№ серии	Положение тела человека	САД, мм рт. ст.		ЧСС, уд/мин	
		$x \pm Sx$	P	$x \pm Sx$	P
1	Фоновая активность лежа на спине	119,98 ± 2,6		72,70 ± 0,9	
2	Лежа на спине головой вниз (угол наклона 30°)	64,85 ± 1,8	<0,001	70,93 ± 1,1	>0,05
3	Период восстановления лежа на спине	117,98 ± 2,9	>0,05	71,33 ± 1,3	>0,05
4	Фоновая активность лежа на животе	120,98 ± 2,3		72,89 ± 1,1	
5	Лежа на животе головой вниз (угол наклона 30°)	75,64 ± 2,1	<0,001	72,89 ± 1,1	>0,05
6	Период восстановления на животе	116,99 ± 3,1	>0,05	73,93 ± 1,1	>0,05

Проведенные нами исследования установили отсутствие достоверных различий среднего систолического давления и среднего количества сердечных сокращений (таблица 2, серии 1 и 4) у студентов, находящихся горизонтально лежа на спине и на животе. После перехода обследуемых в положение вниз головой значения ЧСС, полученные лежа на спине и лежа на животе, достоверно не отклонились от фона (таблица 2, серии 1, 6).

Иное наблюдалось в отношении систолического артериального давления. Повороту испытуемого головой вниз на угол 30° лежа на спине соответствовало достоверное уменьшение САД до 64,85 мм рт. ст., и этот показатель был ниже фонового на 45,99 % (таблица 2, серия 2). Уменьшение САД в верхних конечностях и плечевом поясе, по всей вероятности, компенсирует слишком активный приток крови к голове при повороте человека головой вниз. После окончания пробы и возвращения тела человека в положение лежа на спине систолическое артериальное давление постепенно возрастало и к концу третьей минуты восстанавливалось до 117,98 мм рт. ст., что не отличалось от фона (таблица 2, серия 3).

Следующим этапом эксперимента после перерыва явилась регистрация фоновой активности обследуемого, размещенного горизонтально на животе. После этого положение студента меняли и опускали головой вниз под углом 30° лежа на животе. Зарегистрированное в этом положении систолическое артериальное давление стало ниже уровня фона, снизившись до 75,64 мм рт. ст. (таблица 2, серия 5). Когда же испытуемого вернули в горизонтальное положение, то показатели САД восстановились уже на третьей минуте.

В результате проведенных нами исследований были получены данные, подтверждающие, что фоновые значения максимального артериального давления в положении лежа на животе и на спине были одинаковыми, а переход испытуемого вниз головой вызывал разнонаправленные сдвиги артериального давления. В положении вниз головой лежа на спине САД равнялось 64,85 мм рт. ст., а лежа на животе – 75,64 мм рт. ст. Разность между ними статистически достоверна (таблица 2).

Наличие достоверной разницы наблюдается, возможно, ввиду разной силы раздражения рецепторов сосудистых рефлексогенных зон (вестибулорецепторов) при изменении положения тела в пространстве.

В результате проведенных нами исследований были получены данные, подтверждающие, что фоновые значения максимального артериального давления в положении лежа на животе и на спине были одинаковыми, а переход исследуемого в положение вниз головой вызывал разнонаправленные сдвиги артериального давления. В положении вниз головой лежа на спине САД равнялось 64,85 мм рт. ст., а лежа на животе – 75,64 мм рт. ст. Разность между ними статистически достоверна (таблица 2).

Наличие достоверной разницы наблюдается, возможно, ввиду разной силы раздражения рецепторов сосудистых рефлексогенных зон (вестибулорецепторов) при изменении положения тела в пространстве.

Заключение

Были выявлены гемодинамические реакции при минутном нахождении тела человека в положении головой вниз. Обнаружена четкая зависимость типа сосудистой реакции на изменение положения тела от исходного тонуса магистральных и мелких кровеносных сосудов нижних конечностей.

В таблицах представлена выявленная динамика изменений амплитуды револны голени и амплитуды револны большого пальца ноги таких показателей, как частота сердечных сокращений и систолическое артериальное давление.

В ходе исследования нами осуществлен сравнительный анализ амплитуд револны пальца и голени человека в ортостатическом и антиортостатическом положениях лежа на спине и на животе. Выявлено, что перевод обследуемого в антиортостаз лицом вверх сопровождается достоверными изменениями амплитуд револны как для пальца ноги, так и для голени. При повороте испытуемого головой вниз под углом 30° лежа на спине зафиксировано достоверное уменьшение систолического артериального давления. Полученные данные свидетельствуют о достаточном уровне сердечно-сосудистой регуляции у студентов с фоновым высоким тонусом микро-и макрососудов ног.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о наличии компенсаторных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы, направленных на обеспечение оптимальной гемодинамики при нахождении тела вниз головой. При таком отличающемся от обычного положении тела гравитационная сила способствует усиленному притоку крови к верхней части туловища и, что жизненно важно, к сердцу и головному мозгу. Задачей кровеносной системы является предотвращение резких перепадов кровенаполнения сердца и головного мозга, т. к. это чрезвычайно опасно. Литературные данные говорят, что в роли буферов, смягчающих перепады кровотока при переходе тела человека из горизонтального в вертикальное положение, выступают кровеносные сосуды нижних конечностей. Наши результаты показывают, что в регуляции гемодинамики и перераспределении кровенаполнения при нахождении тела человека вниз головой также большая роль принадлежит магистральным сосудам и микрососудам нижних конечностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – 330 с.
2. Баевский, Р. М. Введение в донозологическую диагностику / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Слово, 2008. – 176 с.
3. Софронов, Г. А. Влияние поструральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма / Г. А. Софронов // Мед. акад. 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. Балуева, И. В. Сергеев // *Авиакосм. и экол. медицина.* – 1997. – Т. 31, № 3. – С. 19–23.

5. Саваневский, Н. К. Реакции кровеносной системы на изменение положения тела человека в пространстве / Н. К. Саваневский, Г. Е. Хомич // *Вестн. Брѣсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навуки аб зямлі.* – 2011. – № 2. – С. 53–57.

6. Robertson, D. The pathophysiology and diagnosis of ortostatic hypotension / D. Robertson // *Clinical Auton. Res.* – 2008. – Nr 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. Osadchie // *Aviakosm. Ekolog. Med.* – 2003. – Nr 37. – P. 27–29.

REFERENCES

1. Astahov, A. A. Fiziologichieskije osnovy bioimpiedansnogo monitoringa giemodinamiki v anesteziologii (s pomoshchju sistiemy «Kientavr») / A. A. Astahov. – Cheliabinsk, 1996. – 330 s.

2. Bajevskij, R. M. Vviedienije v donozologichieskuju diagnostiku / R. M. Bajevskij, A. P. Biersienieva. – M. : Slovo, 2008. – 176 s.

3. Sofronov, G. A. Vlijaniye postural'noj korriekcii giemodinamiki na parametry sierdiechnogo ritma / G. A. Sofronov // *Med. akad. zhurn.* – 2014. – Т. 14, № 3. – S. 38–51.

4. Osadchij, L. I. Giemodinamicheskaja struktura antiortostatichieskikh rieakcij: sootnosheniye mekhanichieskoj aktivnosti sierdca i arterial'noje davlienije / L. I. Osadchij, T. V. Balujeva, I. V. Siergiejev // *Aviakosm. i ekol. medicina.* – 1997. – Т. 31, № 3. – S. 19–23.

5. Savanievskij, N. K. Reakcii krovienosnoj sistiemy na izmienieniye polozhenija tiela chielovieka v prostranstvie / N. K. Savanievskij, G. E. Homich // *Vesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Himija. Bijalohija. Navuki ab ziamli.* – 2011. – № 2. – S. 53–57.

6. Robertson, D. The pathophysiology and diagnosis of ortostatic hypotension / D. Robertson // *Clinical Auton. Res.* – 2008. – Nr 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. Osadchie // *Aviakosm. Ekolog. Med.* – 2003. – Nr 37. – P. 27–29.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 15.02.2021