

ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В ПРОСТРАНСТВЕ

Г.Е. Хомич

Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,
medicine@brsu.brest.by

В обычных условиях жизнедеятельности человек многократно изменяет положение своего тела из горизонтального в вертикальное и обратно. Во много раз реже он располагается так, что нижняя половина его тела оказывается выше верхней, т.е. находится в так называемом антиортостатическом положении. Однако в антиортостазе часто оказываются спортсмены в таких видах спорта как гимнастика, акробатика, прыжки в воду. Антиортостатическая проба, т.е. положение человека с отрицательным углом наклона (голова ниже ног), позволяет имитировать условия отрицательного гравитационного воздействия. Если к ортостатической позе у человека вырабатываются в процессе филогенеза и онтогенеза адаптивные механизмы, то антиортостатическая проба этими механизмами не обладает [4].

Различная ориентация тела человека в гравитационном поле Земли вызывает перераспределение под действием силы тяжести жидкостных сред организма и в первую очередь крови в сосудистой системе. Последствием 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. на ортостатическое воздействие [4, 5]. Влияние антиортостатического положения на реакции систем кровообращения исследовано в гораздо меньшей степени. Вместе с тем, в последние десятилетия интерес к изучению реакций живого организма на антиортостатическое воздействие значительно возрос в связи с освоением космического пространства и длительным нахождением человека в невесомости. В антиортостазе, также как и в невесомости, сердце работает в условиях гемодинамической нагрузки объемом и давлением [3].

Одним из компонентов адаптации организма к условиям невесомости является перестройка гемодинамики, обусловленная перераспределением крови, относительным увеличением кровенаполнения сосудов легких и головы. При изучении сердечного выброса у детей в условиях антиортостаза в конце первой минуты были обнаружены все три возможных варианта динамики величин ударного объема: увеличение, уменьшение и отсутствие достоверных изменений [6]. Эти данные говорят о необходимости дальнейшего изучения постуральных реакций гемодинамики в первые минуты антиортостатического воздействия [7].

В данной работе проведено сравнительное исследование основных показателей вегетативной регуляции кровообращения и гемодинамических характеристик у девушек-студенток с разным тонусом мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. В качестве функциональной дозированной нагрузки на кровеносную систему применялись 5-минутная ортостатическая проба, 5-минутная клинортостатическая проба, а также перевод тела обследуемой в положение вниз головой под углом 30° к горизонту (антиортостатическая проба) и нахождение ее в этом положении в течение 1 минуты.

По методике А.А. Астахова [1] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр-1» импедансометрическим способом с каждым ударом пульса измерялись гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы, в том числе амплитуда реоволны большого пальца ноги (АРП), амплитуда реоволны голени (АРГ), частота сердечных сокращений (ЧСС) и систолическое артериальное давление (САД). Также рассчитывались вариационный размах кардиоинтервалов (ΔX), мода кардиоинтервалов (M_o), амплитуда моды (АМ $_o$), индекс вегетативного равновесия (ИВР), вегетативный показатель ритма (ВПР), индекс напряжения регуляторных систем Баевского (ИН), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР) и показатель двойного произведения (ДП), или индекс Робинсона.

Обследуемая девушка во время эксперимента помещалась на электродное одеяло, закрепленное на поворотном столе. Ее фиксировали к крышке поворотного стола, которая могла поворачиваться на 90° в вертикальной плоскости. Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги. Электрическое сопротивление, или импеданс тканей между электродами, измерялось с помощью реографа Р4-02. С четырех каналов реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр-1», где производилась их компьютерная обработка. Статистическую обработку результатов проводили по t -критерию Стьюдента.

Определение исходного тонуса мелких кровеносных сосудов нижних конечностей для отбора в исследуемую группу осуществляли по показателям АРП, а крупных кровеносных сосудов ног по значениям АРГ. При нормальном тонусе и, соответственно, диаметре сосудов у взрослого человека АРП составляет примерно 80–150 мОм, а АРГ – 80–130 мОм. В случае вазодилатации и гипотонии АРП равняется 160–300 мОм, АРГ – 140–300 мОм. Во время чрезвычайно сильного сужения кровеносных сосудов величины АРП и АРГ снижаются ниже 30 мОм [2].

В зависимости от фонового состояния тонуса кровеносных сосудов из всех обследованных нами студенток было выделено три группы: 1) с нормальным тонусом мелких и крупных кровеносных сосудов ног, о чем свидетельствовали, соответственно, значения АРП 80–150 мОм и АРГ – 80–130 мОм; 2) с повышенным тонусом сосудов нижних конечностей (АРП и АРГ ниже 30 мОм); 3) с пониженным тонусом этих сосудов (АРП равнялось 160–300 мОм, АРГ – 140–300 мОм).

Было установлено, что в состоянии покоя, в горизонтальном положении значения АРП и АРГ достоверно различались в каждой из обследованных групп (таблица 1, серии 1, 5, 9). Выполнение ортостатической пробы приводило к уменьшению АРП, АРГ и к возрастанию ЧСС и САД во всех группах испытуемых. Однако выраженность этих изменений была неодинакова. Наиболее сильно антигравитационные сосудосуживающие реакции нижних конечностей при вертикальном положении тела наблюдались у девушек 1-й группы, т.е. с фоновым нормальным тонусом кровеносных сосудов, у которых АРП уменьшалась в 5,3, а АРГ – в 4,0 раза (таблица 1, серия 2). У девушек с изначальным высоким тонусом микро- и макрососудов ног при ортостатической пробе АРП уменьшалась в 2,4 раза, АРГ – в 1,7 раза (таблица 1, серия 6). У студенток с фоновым низким тонусом сосудов на 5-й минуте ортостаза АРП снижалась в 3,2 раза, АРГ – в 3,1 раза (таблица 1, серия 10).

Во время клиностатической пробы происходило восстановление показателей практически до фоновых значений. Выполнение антиортостатической пробы (АОП) вызывало компенсаторное расширение кровеносных сосудов ног, препятствующее усиленному притоку крови к головной части тела. Наиболее сильно данные сосудодвигательные реакции проявлялись у девушек с первоначальным нормальным тонусом микро- и макрососудов ног, у которых АРП по сравнению с фоном увеличивалась на 44,2 мОм, а АРГ – на 30,3 мОм (таблица 1, серия 4). У студенток с фоновым высоким тонусом сосудов увеличение АРП и АРГ было гораздо меньше: соответственно, на 2,8 и 13,4 мОм. У девушек с низким тонусом кровяного русла нижних конечностей во время АОП микрососуды вообще не участвовали в осуществлении компенсаторных антигравитационных реакций и наблюдалось не увеличение, а снижение значений АРП на 8,9 % (таблица 1, серия 8). Усиленному притоку крови к органам грудной полости и голове пыталось воспрепят-

ствовать расширение магистральных сосудов ног, о чем свидетельствовало увеличение АРГ по сравнению с фоном на 13,2 % (таблица 1, серия 12).

При выполнении АОП происходило незначительное снижение ЧСС и достоверное уменьшение САД, наиболее выраженное у девушек 3-й группы (таблица 1, серии 4, 8, 12).

Таблица 1 – Гемодинамические показатели у девушек с нормальным (1-я группа), высоким (2-я группа) и низким (3-я группа) фоновым тоном мелким и крупным кровеносных сосудов нижних конечностей

Обследуемая группа	Серия опытов	Проба	АРП	АРГ	ЧСС	САД
1-я группа	1	Фон	86,7 ± 0,4	115,9 ± 0,6	69,8 ± 0,6	110,6 ± 0,6
	2	Ортостатическая	16,4 ± 0,6	28,7 ± 0,8	92,4 ± 0,4	127,1 ± 0,8
	3	Клиноостатическая	88,7 ± 0,6	113,6 ± 0,7	68,7 ± 0,6	112,7 ± 0,6
	4	Антиортостатическая	130,9 ± 0,9	146,2 ± 1,0	68,7 ± 0,6	56,9 ± 0,7
2-я группа	5	Фон	4,1 ± 0,1	23,9 ± 0,3	74,7 ± 0,6	116,5 ± 0,7
	6	Ортостатическая	1,7 ± 0,1	13,8 ± 0,3	98,5 ± 1,0	138,6 ± 0,8
	7	Клиноостатическая	5,7 ± 0,2	27,2 ± 0,4	73,8 ± 0,4	110,8 ± 0,6
	8	Антиортостатическая	6,9 ± 0,2	37,3 ± 0,4	73,9 ± 0,3	44,8 ± 0,9
3-я группа	9	Фон	168,3 ± 1,2	141,4 ± 1,0	61,4 ± 0,6	100,2 ± 0,8
	10	Ортостатическая	52,6 ± 0,5	45,5 ± 0,6	85,6 ± 0,5	118,4 ± 1,6
	11	Клиноостатическая	171,7 ± 1,0	142,9 ± 0,9	58,9 ± 0,6	101,7 ± 0,9
	12	Антиортостатическая	153,4 ± 1,1	160,1 ± 1,2	59,9 ± 0,6	35,9 ± 1,1

Сердечный ритм является реакцией организма на различные раздражения внешней и внутренней среды и служит индикатором отклонений, возникающих в регулирующих системах. Поэтому исследование variability ритма сердца имеет большое значение для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы, оценки функционального состояния здорового человека, уровня тренированности спортсмена.

У здорового человека в спокойном состоянии кардиоритм преимущественно регулируется собственным водителем ритма, влияниями, поступающими от симпатических и парасимпатических ганглиев, а также уровнем некоторых гормонов в крови. При этом частота сердечного ритма волнообразно меняется, разброс времени между отдельными сердечными ударами достаточно велик. При состояниях, требующих повышенной готовности, быстроты реакции, при стрессе и некоторых патологических состояниях к регуляции сердечного ритма, подключаются ствол головного мозга и кора больших полушарий. Ритм становится более стабильным, время между ударами почти одинаковым.

Для определения степени адаптации сердечно-сосудистой системы к пробам с изменением положения тела человека в пространстве и участия в этом регуляторных механизмов был проведен на основе данных ЧСС сравнительный анализ variability сердечного ритма. Для расчета значений M_0 , AM_0 , ΔX , ИВР, ВПР, ИН, ПАПР и ДП были взяты по одной из представительниц 1-й, 2-й и 3-й группы. Результаты приведены в таблице 2.

Мода кардиоинтервалов (M_0) – наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервалов, указывающее на величину доминирующего уровня синусового узла. AM_0 – это число кардиоинтервалов в процентах, соответствующих значению моды, и отражающее меру мобилизующего влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС). ΔX рассматривается как показатель активности парасимпатического отдела ВНС. ИВР при увеличении симпатических влияний на сердечный ритм увеличивается, а при возрастании парасимпатической активности снижается. ВПР позволяет судить о парасимпатических сдвигах вегетативного баланса. ИН указывает на степень централизации управления сердечным ритмом. ПАПР отражает соответствие между активностью

симпатического отдела ВНС и уровнем функционирования синусового узла. ДП, или индекс Робинсона, характеризует сократительную работу сердца. Чем больше этот показатель на высоте физической нагрузки, тем выше функциональная способность мышц сердца. По ДП косвенно можно судить о потреблении кислорода миокардом.

Таблица 2 – Показатели Мо, АМо, ΔХ, ИВР, ВПР, ИН, ПАПР и ДП при различных положениях в пространстве девушки с нормальным (1–я группа), высоким (2–я группа) и низким (3–я группа) тонусом микро– и макрососудов нижних конечностей

Показатели	Обследуемая группа	Горизонтальное положение (фон)	На 5–й минуте ортостатической пробы	На 5–й минуте клиностатической пробы	Нахождение в антиортостазе
Мо (с)	1–я	0,77	0,61	0,81	0,86
	2–я	0,73	0,57	0,78	0,85
	3–я	0,96	0,79	0,98	0,99
АМо (%)	1–я	12	14	14	10
	2–я	12	15	12	17
	3–я	11	11	12	12
ΔХ (с)	1–я	0,18	0,08	0,18	0,20
	2–я	0,20	0,15	0,23	0,13
	3–я	0,22	0,15	0,20	0,20
ИВР	1–я	80,0	175,0	84,5	51,5
	2–я	45,0	47,8	52,2	130,8
	3–я	48,1	75,6	62,5	68,3
ВПР	1–я	0,19	0,12	0,19	0,23
	2–я	0,24	0,39	0,28	0,15
	3–я	0,22	0,17	0,20	0,20
ПАПР	1–я	15,6	23,1	16,2	12,0
	2–я	10,8	12,3	14,5	20,0
	3–я	10,9	12,7	12,5	13,6
ИН	1–я	51,9	144,4	51,5	29,9
	2–я	27,1	38,0	31,4	76,9
	3–я	28,3	51,4	31,7	33,9
ДП	1–я	78,1	123,8	77,8	39,1
	2–я	81,4	137,4	80,9	28,8
	3–я	71,2	93,6	63,7	24,1

Полученные нами данные свидетельствуют, что в состоянии покоя в горизонтальном положении у девушек с разным фоновым тонусом кровеносных сосудов ног исследуемые показатели вариабельности сердечного ритма в большинстве случаев мало различались между собой. Только у студентки из 3–й группы, т.е. с низким тонусом микро– и макрососудов, слегка преобладали парасимпатические влияния, о чем судили по более высоким значениям Мо и ΔХ и более низкой величине ДП (таблица 2).

Выполнение ортостатической пробы вызывало увеличение активности симпатического отдела ВНС, что выражалось в уменьшении значений Мо, ΔХ и возрастании ИВР, ПАПР, ИН и ДП. Выполнение клиностатической пробы приводило на 5–й минуте к восстановлению большинства исследуемых показателей к значениям, близким к фоновым. Следует отметить, что данное восстановление протекало медленнее у девушек из 2–й и 3–й группы (таблица 2).

Пассивный перевод студенток в положение головой вниз под углом 30° к горизонту, т.е. выполнение АОП, вызывал резкое усиление парасимпатических влияний на сердечный ритм у девушки с фоновым нормальным тонусом периферических кровеносных

сосудов. На это указывали более высокие, чем в покое, значения M_0 , ΔX и более низкие величины A_{M_0} , ИВР, ПАПР, ИН и ДП. Менее однозначными оказались исследуемые показатели variability сердечного ритма у девушек с первоначальным высоким и низким тонусом макро- и микрососудов ног. У них во время выполнения АОП наблюдалось увеличение значений M_0 , A_{M_0} , ИВР, ПАПР и ИН при одновременном снижении величин ΔX , ВПР и ДП, что не давало возможности судить о преобладании влияния какого-либо отдела ВНС.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Изменение положения тела человека в пространстве путем пассивного выполнения ортостатической, клиноростатической и антиортостатической проб вызывает компенсаторные антигравитационные сосудодвигательные реакции в нижних конечностях, которые направлены на нейтрализацию негативных последствий чрезмерного оттока (в ортостазе) или притока (в антиортостазе) крови к органам грудной полости и к головному мозгу. Указанные реакции более адекватно осуществляются у девушек с фоновым нормальным тонусом кровеносных сосудов нижних конечностей, о чем свидетельствуют более благоприятные показатели variability сердечного ритма.

Литература

1. Астахов, А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики и анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») / А.А. Астахов. – Челябинск, 1996. – ч. 1, 2. – 330 с.
2. Виноградова, Т.С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т.С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.
3. Донина, Ж.А. Межсистемные взаимоотношения дыхания и кровообращения / Ж.А. Донина // Физиология человека. – 2011. – № 2. – С.117–128.
4. Осадчий, Л.И. Положение тела и регуляция кровообращения / Л.И. Осадчий. – Л.: Наука, 1982. – 382 с.
5. 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.
6. Тупицина, Л.П. Изменения центральной гемодинамики при антиортостатическом воздействии у детей / Л.П. Тупицина, Г.В. Кмить, С.В. Догадкина // Физиология человека. – 1986. – Т.12. – № 3. – С. 420–425.
7. Wieling, W. Dynamics of circulatory adjustments to head-up tilt and tilt-back in healthy and sympathetically denervated subjects / W. Wieling, J.J. Lieshout, A.D. Harkel // Clin. Sci. (Colch). – 1998. – V. 94. – № 4. – P.347–352.