

**Г. Е. Хомич**, канд. биол. наук, доцент, **Н. К. Саваневский**, канд. биол. наук, доцент  
Учреждение образования «Брестский государственный университет  
им. А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, nik-savan@ya.ru

## **ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ГЕМОДИНАМИКУ И РЕГУЛЯЦИЮ РИТМА СЕРДЦА**

Изменения в деятельности сердца и в гемодинамике при физической нагрузке в известной степени зависят от исходного состояния тонуса кровеносных сосудов, определяющего их пульсацию и способность к перераспределению крови между сосудистыми регионами [1]. Одним из факторов, оказывающих влияние на тонус кровеносных сосудов, является хроническое низкоинтенсивное радиоактивное облучение,

которому подвергаются люди, постоянно проживающие в районах, загрязненных черномыльскими радионуклидами. Степень напряжения регуляторных механизмов сердца при том или ином состоянии организма определяется его текущим уровнем функционирования, а также внешними воздействиями, особенно имеющими экстремальный или субэкстремальный характер. К экстремальным факторам, негативно влияющим на регуляцию сердечно-сосудистой системы, несомненно, относится хроническое низкоинтенсивное радиоактивное облучение. Действие облучения, по-видимому, проявляется в первую очередь на клеточном и молекулярном уровнях, т.к. при стимуляции  $\alpha$ -адренергических рецепторов обнаружено увеличение функциональных ответов изолированного сердца и усиление констрикторных реакций сегментов аорты [2].

Исследования, проведенные на студентах, имевших статус потерпевших от последствий аварии на ЧАЭС, показывают, что гемодинамические показатели у большинства из них сохраняются в границах нормальных значений, однако имеют большое непостоянство [3]. Изменения в стенках кровеносных сосудов и особенно в их гладкомышечной оболочке оказывают влияние на сосудистый тонус [4] и, в конечном счете, на кровяное давление.

Занятия физической культурой и спортом требуют от сердечно-сосудистой системы быстрого и адекватного реагирования на разнообразные физические нагрузки с целью нормального обеспечения работающих мышц и всего организма в целом. Поскольку хроническое действие малых доз радиации отражается на тонусе кровеносных сосудов, то выяснение их реакции на мышечную работу необходимо учитывать при определении характера и объема физических нагрузок для людей, постоянно находящихся в районах радиоактивного загрязнения.

Известно, что адекватные динамические и статические физические нагрузки положительно отражаются на функционировании сердца и кровеносных сосудов [5–7]. Работа с отягощениями является с физиологических позиций весьма специфической, затрудняющей условия адекватного гемодинамического и вегетативного обеспечения нагрузок.

**Цель исследования** – изучение состояния периферических кровеносных сосудов у людей, не проживавших и много лет проживавших на местности с повышенным радиоактивным фоном, а также анализ некоторых реакций сердечно-сосудистой системы, механизмов регуляции сердечного ритма при физической статической нагрузке в зависимости от тонуса этих сосудов в состоянии покоя.

**Методы исследования.** По методике А.А. Астахова [1] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр» импедансометрическим способом исследовались гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы, в том числе амплитуда револны большого пальца ноги (АРП), амплитуда револны голени (АРГ), частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (САД), Расчетным способом определялись мода частоты пульса ( $M_o$ ) и вариационный размах кардиоинтервалов ( $\Delta X$ ). Указанные показатели регистрировались у девушек в горизонтальном положении в состоянии покоя, при выполнении статической нагрузки и в период восстановления. 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 обследуемую группу ( $n = 30$ ) вошли студентки первого курса Брестского государственного университета, которые непосредственно до поступления в университет постоянно проживали в Столинском и Лунинецком районах Брестской области на местности, имеющей радиоактивное загрязнение по цезию-137 от 1 до 5 Кю/км<sup>2</sup>. Контрольную группу ( $n = 30$ ) составили студентки, не проживавшие и не находившиеся продолжительное время в зоне радиационного контроля.

Статической физической нагрузкой для девушек служило удержание в положении лежа на вытянутых вверх руках в течение одной минуты штанги, весившей 50 % от того максимального веса, который девушка могла поднять.

Результаты обработки в виде цифровых данных и гистограмм высвечивались на экране дисплея и давали характеристику артериального кровенаполнения, состояния тонуса кровеносных сосудов, систолического артериального давления, частоты сердечных сокращений в покое и при выполнении физической нагрузки. Также по величинам  $M_0$  и  $\Delta X$  судили об активности нервной и гуморальной регуляции сердца. Достоверность результатов оценивалась по критерию Стьюдента.

**Результаты исследования.** 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 кровеносных 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. При очень сильном сужении кровеносных сосудов (спазматическом состоянии) величины АРП и АРГ падают соответственно ниже 30 и 50 мОм [1, 8].

Нами были выявлены у испытуемых в состоянии покоя до выполнения статической нагрузки различные сочетания функционального состояния мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. Важным является то обстоятельство, что в зависимости от исходного просвета микро- и макрососудов ног наблюдались неоднозначные реакции АРП и АРГ на статическую нагрузку.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что сильно расслабленное, т.е. дилататорное, состояние мелких и крупных кровеносных сосудов ног встречалось у 2 студенток (6,7 %) из контрольной группы. В обследуемой же группе такой тонус кровеносных сосудов встречался у 8 девушек (26,6 %). Спазматическое состояние микрососудов и магистральных кровеносных сосудов ног было обнаружено у 3 девушек (10 %) из контрольной группы и у 10 студенток (33,3 %) из обследуемой группы.

В данной статье представлены результаты исследования, проведенные на девушках из контрольной и обследуемой группы, имевших спазматическое состояние мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей.

В состоянии покоя средняя АРП тестируемых студенток равнялась 24,96 мОм, а средняя АРГ – 17,25 мОм (табл. 1). Удержание штанги в течение одной минуты вызывало увеличение показателей АРП на 53,51 %. При этом не наблюдалось достоверных изменений средней величины АРГ, хотя пульсация ее значений в обе стороны от изолинии существенно возрастала.

Как следует из приведенных импедансометрических данных, характеризующих состояние кровеносных сосудов, у девушек со спазмом кровяного русла перераспределение крови при статической нагрузке происходит в основном за счет микрососудов нижних конечностей. Магистральные сосуды ног практически не участвуют в перераспределении крови при удержании штанги. Мониторинг систолического артериального давления и частоты сердечных сокращений показал, что выполнение статической нагрузки приводит к повышению САД на 14,9 % по сравнению с уровнем покоя, а ЧСС – на 14,06 % (табл. 1).

За первые три минуты после окончания удержания штанги исследуемые показатели не успевали полностью восстановиться до фонового уровня. При этом значения АРП, САД и ЧСС имели выраженную тенденцию к возвращению до первоначального уровня, т.е. до их уровня, наблюдаемого до статической нагрузки. Что же касается средней величины АРГ, то в течение первых трех минут после прекращения удержания штанги она продолжала плавно нарастать и становилась достоверно выше, чем до статической нагрузки.

Таблица 1 – Изменения АРП, АРГ, САД и ЧСС при статической нагрузке у девушек обследуемой группы

Исследуемый показатель	До статической нагрузки	При статической нагрузке	Восстановление
	$\bar{x} \pm Sx$	$\bar{x} \pm Sx$	$\bar{x} \pm Sx$
Амплитуда реоволны пальца ноги (МОм)	24,96 ± 0,57	38,32 ± 1,39*	34,66 ± 0,77*
Амплитуда реоволны голени (МОм)	17,25 ± 0,05	17,48 ± 0,17	17,97 ± 0,10*
Систолическое артериальное давление (мм рт. ст.)	109,36 ± 0,28	125,66 ± 0,97*	113,58 ± 0,30*
Частота сердечных сокращений (уд/мин)	66,93 ± 0,21	76,34 ± 0,34*	68,79 ± 0,23*

Примечание: достоверные различия по отношению к значению исследуемого показателя до выполнения статического усилия с 0,001 уровнем значимости (P) отмечены звездочкой (\*).

Исследование динамики колебаний САД показало его более значительное непостоянство у лиц, долго проживавших на местности, загрязненной радионуклидами, по сравнению с наблюдавшейся в норме [9]. Причиной этому могут быть вызванные хроническим влиянием малых доз радиации колебания артериального давления [3], обусловленные, вероятно, изменениями в нейрогуморальных механизмах регуляции гемодинамики, что потребовало дальнейшего изучения.

Согласно данным литературы [10, 11], по величине  $M_0$  можно судить об активности гуморального канала регуляции ритма сердца, а по величине  $\Delta X$  – об активности парасимпатической регуляции сердечного ритма. Высокие значения  $M_0$ , более 0,78 с, свидетельствуют о преобладании холинергических воздействий на сердце, менее 0,67 с – о главенствовании адренергических влияний, а величины  $M_0$  в диапазоне 0,67–0,78 с указывают на уравновешенность гуморальных каналов регуляции. Показатели  $\Delta X$  более 0,31 с свидетельствуют о преобладающем участии, 0,24–0,31 с – об адекватном, а менее 0,24 с – о маловыраженном участии парасимпатического отдела ВНС в регуляции ритма сердечных сокращений.

В результате исследований нами были получены данные об активности указанных регуляторных механизмов у студенток, более 15 лет проживавших на местности с повышенным радиоактивным фоном и имевших спазматический тонус мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей (табл. 2). Как видно из таблицы, в состоянии покоя в горизонтальном положении преобладание холинергических гуморальных влияний на сердечный ритм обнаруживалось у 86 % студенток. У 9 % обследованных выявлялась уравновешенность гуморальных каналов регуляции и только у 5 % наблюдалось преобладание адренергических воздействий (табл. 2, серия 1).

Таблица 2 – Распределение (в %) студенток обследуемой группы, имеющих различные показатели активности регуляторных механизмов ритма сердца

Серия опытов	$M_0$ (с)			$\Delta X$ (с)		
	<0,67	0,67–0,78	>0,78	<0,24	0,24–0,31	>0,31
1. До нагрузки	5	9	86	76	14	10
2. Статическая нагрузка	71	19	10	86	9	5
3. Восстановление	9	23	68	71	24	5

Встречаемость разных величин вариационного размаха межсистолических кардиоинтервалов также была неодинаковой. Главенствующее участие парасимпатического отдела ВНС в регуляции кардиоритма выявлялось только у 10 % студенток. В то же время, его адекватное влияние обнаруживалось у 14 %, а маловыраженное участие в регуляции – у 76 % испытуемых. Полученные данные свидетельствуют о том, что в состоянии покоя в горизонтальном положении у девушек, долго проживавших в районах радионуклидного загрязнения и имевших в состоянии покоя исходный спазматический тонус кровеносных сосудов нижних конечностей, в регуляции ритма сердца господствующую роль играет симпатический отдел ВНС при одновременно значительном участии холинергических гуморальных факторов.

При выполнении статической физической нагрузки значительно увеличилось количество девушек, у которых более активными стали адренергические механизмы регуляции (табл. 2, серия 2). Так, преобладание адренергических гуморальных влияний обнаруживалось у 71 % студенток, а главенствование холинергических факторов сохранялось только у 10 % обследованных. Удержание штанги сопровождалось также снижением влияния парасимпатического отдела ВНС на сердечный ритм, о чем можно было судить по возрастанию количества девушек с  $\Delta X$  меньше 0,24 с до 86 %.

После окончания статической нагрузки происходило постепенное возвращение исследуемых показателей до уровня покоя, что указывало на восстановление фоновых уровней гуморальной и парасимпатической регуляции кардиоритма. Значения  $M_0$  и  $\Delta X$  на 2 – 3-й минутах восстановления представлены в табл. 2 (серия 3).

**Выводы.** У молодых людей, долго проживавших на местности, загрязненной чернобыльскими радионуклидами, значительно чаще встречаются отклонения от нормы тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. У девушек со спазмом кровяного русла перераспределение крови при статической нагрузке происходит в основном за счет микрососудов нижних конечностей, а магистральные сосуды ног практически не участвуют в перераспределении крови.

В регуляции ритма сердца при горизонтальном положении тела в состоянии покоя преобладающую роль играют гуморальные холинергические факторы при одновременно маловыраженном участии парасимпатического отдела ВНС. Выполнение умеренной физической статической нагрузки вызывает резкое увеличение роли адренергических гуморальных влияний на фоне еще большего снижения активности парасимпатической нервной системы в регуляции сердечного ритма, что согласуется с данными литературы [5, 7, 10]. Данные особенности регуляции сердечного ритма у людей с различным фоновым состоянием периферических кровеносных сосудов следует учитывать при определении для них оптимальных физических нагрузок.

#### Список использованных источников

1. Астахов, А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») / А.А. Астахов. – Челябинск, 1996. – 330 с.
2. Лобанок, Л.М. Модификация механизмов нейрогуморальной регуляции сердечно-сосудистой системы под воздействием низкоинтенсивных ионизирующих излучений / Л.М. Лобанок // Тез. докл. X съезда Белорусского об-ва физиологов. – Минск, 2001. – С. 92–93.
3. Пикалюк, В.С. Показники периферичного кровообігу у студентів Волинського державного університету, які мають статус потерпілих внаслідок аварії на ЧАЕС / В.С. Пикалюк, О.В. Степук // Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. – 2000. – № 7. – С. 165–169.
4. Ткаченко, М.М. Вплив малих доз радіації на скорочувальні реакції гладеньких м'язів судин / М.М. Ткаченко // Доповіді НАН. – 1997. – № 7. – С. 170–174.
5. Морман, Д. Физиология сердечно-сосудистой системы / Д. Морман, Л. Хеллер. – СПб: Питер, 2000. – 256 с.
6. Heggie, V.A. Century of Cardiomythology: Exercise and the Heart / V.A. Heggie // Social History of Medicine. – 2010. – № 2. – P. 280–298.

7. Белоцерковский, З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов / З.Б. Белоцерковский. – М.: Советский спорт, 2005. – 312 с.
8. Виноградова, Т.С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т.С. Виноградова. – М.: Медицина, 1986. – 416 с.
9. Сердюк И. В. Результаты изучения показателей артериального давления у студенток / И. В. Сердюк // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2012. – № 1. – С. 105–108.
10. Баевский, Р.М Ритм сердца у спортсменов / Р.М. Баевский, Р.Е. Мотылянская // М. : ФиС, 1986. – 143 с.
11. Блинова, Н.Г. Практикум по психофизиологической диагностике / Н.Г. Блинова, Л.Н. Игишева, Н.А. Литвинова // М.: Владос, 2000. – 128 с.