УДК 612.178 (181) + 612. 273.2

Е.М. Лесова[1], Е.Б. Филиппова[1],
В.Н. Голубев[2], В.Б. Дергачёв[1]

Влияние интервальных гипоксических тренировок на показатели гемодинамики при ортостатической нагрузке

[1]Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург
[2]Научно-исследовательский центр «Арктика», Магадан

Резюме. *Исследовалось влияние интервальных гипоксических тренировок на показатели гемодинамики при пассивной ортостатической пробе. У испытуемого после 5 мин покоя в положении лежа осуществляли подъем головной части на 70° при помощи поворотного стола. Регистрировались показатели центральной гемодинамики: частота сердечных сокращений, минутный и ударный объемы крови, общее периферическое сопротивление сосудов. Оценивалась спектрограмма сердечного ритма с выделением низкочастотного, очень низкочастотного и высокочастотного компонентов. Тренировки заключались в дыхании газовой смесью с 10% содержанием кислорода в азоте по 5 мин с 5-минутным интервалом в течение часа; по 10 тренировок у каждого испытуемого. Установлено, что после интервальных гипоксических тренировок при переходе из горизонтального положения тела в вертикальное наблюдалась стабилизация систолического артериального давления и увеличение диастолического артериального давления. Закономерные изменения показателей гемодинамики при ортостатической нагрузке – снижение минутного и ударного объема крови и увеличение общего периферического сопротивления сосудов – выражены в меньшей степени. После интервальных гипоксических тренировок при переходе в вертикальное положение наблюдается относительное увеличение мощности низкочастотного компонента спектрограммы сердечного ритма, что указывает на увеличение парасимпатических влияний на сердечный ритм; наблюдается снижение роли надсегментарных структур в контроле сосудистого тонуса и сердечного выброса. Предполагается, что интервальные гипоксические тренировки повышают неспецифическую адаптацию организма и способствует ортостатической устойчивости.*

Ключевые слова*: пассивная ортостатическая проба, функциональное состояние организма, интервальные гипоксические тренировки, компоненты спектрограммы сердечного ритма, артериальное давление, минутный объем крови, ударный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов, система кровообращения.*

Введение. Изменение положения тела в пространстве оказывает выраженное воздействие на систему кровообращения, что связано с гравитационными перемещениями крови даже при небольших углах наклона [9]. Пассивная ортостатическая проба используется для оценки компенсаторных реакций системы кровообращения, которые отражают ее функциональные резервы и заключаются в увеличении частоты сердечных сокращений (ЧСС), тонуса сосудистой стенки, перераспределении объема циркулирующей крови. Эти реакции направлены на поддержание определенного уровня артериального давления крови в изменившихся условиях. Установлено, что у клинически здоровых лиц при ортостазе в результате депонирования крови в нижней половине тела, снижается объем циркулирующей крови и, как следствие, минутного объема крови (МОК), которое сопровождается уменьшением ударного объема крови (УОК) и возрастанием ЧСС [8, 9]. Обнаружено увеличение общего периферического сопротивления, незначительное снижение систолического артериального давления (САД) и повышение диастолического (ДАД), что обеспечивает снижение среднединамического давления (СДД) лишь на 1% [10]. Однако после длительной гипокинезии при ортостатическом воздействии, сдвиги показателей гемодинамики весьма существенны и могут привести к развитию сосудистого коллапса, отражающего крайнюю степень нарушений компенсаторно-приспособительных механизмов.

В клинико-физиологических исследованиях используют два варианта ортостатической пробы – активную (АОП), когда пациент встает самостоятельно, и пассивную, при фиксации тела на поворотном столе. При сравнении результатов активной и пассивной ортостатической проб с углом наклона стола 70° выявлены одинаковые по направленности и практически по величине сдвиги САД, ДАД и ЧСС. При обоих вариантах ортостатической пробы механизмы гемодинамических сдвигов, их направленность и величина существенно не различаются. Выделяют два противоположных типа гемодинамических реакций на ортостаз – гиперсимпатикотонический и гипосимпатикотонический, а крайнюю степень выраженности последнего обозначают как асимпатикотонический тип. Гиперсимпатикотонический тип реакции характеризуется возникновением тахикардии, повышением не только ДАД, но и САД, сердечный индекс обычно также возрастает, причем не только за счет тахикардии, но и нередко за счет повышения ударного индекса. Этот тип реакции отражает

гиперадаптацию к гравитационным возмущениям и обусловлен недостаточной коррекцией со стороны центральной нервной системы интенсивности первичных симпатико-тонических реакций на ортостатику, связанных с функцией каротидных барорецепторов. Гипо- и асимпатикотонический типы реакций характеризуются значительным снижением в процессе ортостатической пробы САД и ДАД, малым учащением пульса или даже его урежением; сердечный индекс в этих случаях снижается значительно и очень быстро [13]. Таким образом, реакцию организма на ортостаз можно рассматривать как показатель одного из видов адаптации организма к воздействию гравитации.

Ранее нами [6] было выявлено различие гемодинамических реакций на ортостатическую нагрузку в зависимости от изменений общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС) при гипоксии. Было установлено, что у испытуемых, реагирующих увеличением ОПСС при гипоксии наблюдалось уменьшение МОК и УОК; реакция на ортостатическую нагрузку в условиях гипоксии снижалась. При отсутствии изменений ОПСС при гипоксии величины МОК и УОК также не изменялись. Гемодинамические показатели при ортостатической нагрузке в условиях гипоксии и нормоксии были аналогичными. У испытуемых, реагировавших понижением ОПСС при гипоксии наблюдалось увеличение МОК и УОК; реакция на ортостаз была выражена в большей степени в условиях гипоксии.

Голубев с соавторами [2] в предыдущих исследованиях установили индивидуальные различия устойчивости организма к гипоксии, исследовали показатели систем дыхания и кровообращения и корреляцию ряда физиологических показателей с уровнем физической работоспособности. Было выявлено, что интервальные гипоксические тренировки (ИГТ), как вариант прекондиционирования, можно рассматривать как неспецифический фактор, увеличивающий адаптацию физиологических систем организма к воздействию гипоксии [5, 12].

Цель исследования. Оценить влияние ИГТ на ортостатическую устойчивость человека.

Материалы и методы. Обследованы 24 добровольца в возрасте 18–20 лет. Функциональное состояние системы кровообращения оценивалось при помощи ортостатической пробы до и после проведения гипоксических тренировок.

В первой части работы проводилась пассивная ортостатическая проба согласно Вестминстерскому протоколу. У испытуемого после 5 мин покоя в положении лежа при использовании поворотного стола осуществляли подъем головной части на 70°. Регистрировались показатели центральной гемодинамики: ЧСС, МОК, УОК, ОПСС при помощи реографа «РГПА-6/12» по методике Кубичека. Регистрировалась спектрограмма сердечного ритма с выделением низкочастотного (LF), очень низкочастотного (VLF) и высокочастотного (HF) компонентов при помощи электрокардиографа фирмы «Нейрософт» и программы «Полиспектр». Регистрация показателей осуществлялась в положении лежа, затем в ортостатическом положении в течение 5 мин. В течение всего исследования ежеминутно регистрировали показания артериального давления с помощью прикроватного монитора модели «Тритон».

Во второй части работы каждый испытуемый проходил курс ИГТ. Тренировки заключались в дыхании газовой смесью с 10% содержанием O_2 в азоте по 5 мин с 5-минутным интервалом в течение часа. Тренировки проводились через день; по 10 тренировок у каждого испытуемого. После тренировок проводилось повторное исследование. Параллельно проводилось исследование ортостатической устойчивости у испытуемых, которые не подвергались гипоксическим тренировкам. Ортостатическая устойчивость оценивалась по изменениям перечисленных выше показателей.

Результаты и их обсуждение. Величина и направление изменения артериального давления при ортостазе являются решающим фактором адаптации системы кровообращения к гравитационным нагрузкам. Изменения артериального давления при переходе в вертикальное положение выражались в % по отношению к величинам, зарегистрированным в положении лежа у каждого испытуемого. На рисунке 1 представлена динамика САД при ортостатической нагрузке каждого испытуемого. До ИГТ изменения САД составляли от 5 до 15% и имели разнонаправленный характер: у одних испытуемых САД увеличивалось, у других уменьшалось. После ИГТ динамика САД была сходной: у всех испытуемых изменения САД составляли не более 5% в сторону увеличения, что свидетельствует о стабильном приросте УОК после ИГТ.

Такая же тенденция наблюдалась при регистрации ДАД. После ИГТ величины ДАД при переходе в вертикальное положение были больше, чем в горизонтальном положении у всех испытуемых, в то время, как до тренировки они у ряда испытуемых понижались; увеличение достигало 20% (см. рис. 1 а, б). Изменения величин САД и ДАД способствовали стабилизации СДД (см. рис. 1 (д). В контрольной группе САД и ДАД регистрировалось дважды в то же время, что и в экспериментальной группе. Видно, что во всех случаях динамика АД у них при ортостатической нагрузке была разнонаправленной (см. рис. 1. в, г, е).

Динамика показателей реограммы при ортостатической нагрузке носила сходный характер у всех испытуемых и может быть охарактеризована по усредненным данным. Так, до ИГТ при переходе в вертикальное положение МОК уменьшился на 1,48 л, что составило 24,4% от величин МОК, зарегистрированного в положении лежа. После ИГТ МОК уменьшился на 0,73 л, или на 15,8%. Достоверно ($p \leq 0,05$) уменьшилось и исходное значение МОК в положении лежа, с 5,9±0,5 до 5,0±0,3 л/мин (рис. 2 а).

Динамика УОК также носила сходный характер до и после ИГТ. Снижение УОК до ИГТ составляло 35,7% (с 78,9±7,5 до 47,4±3,7 мл), а после ИГТ – 25,6% (с

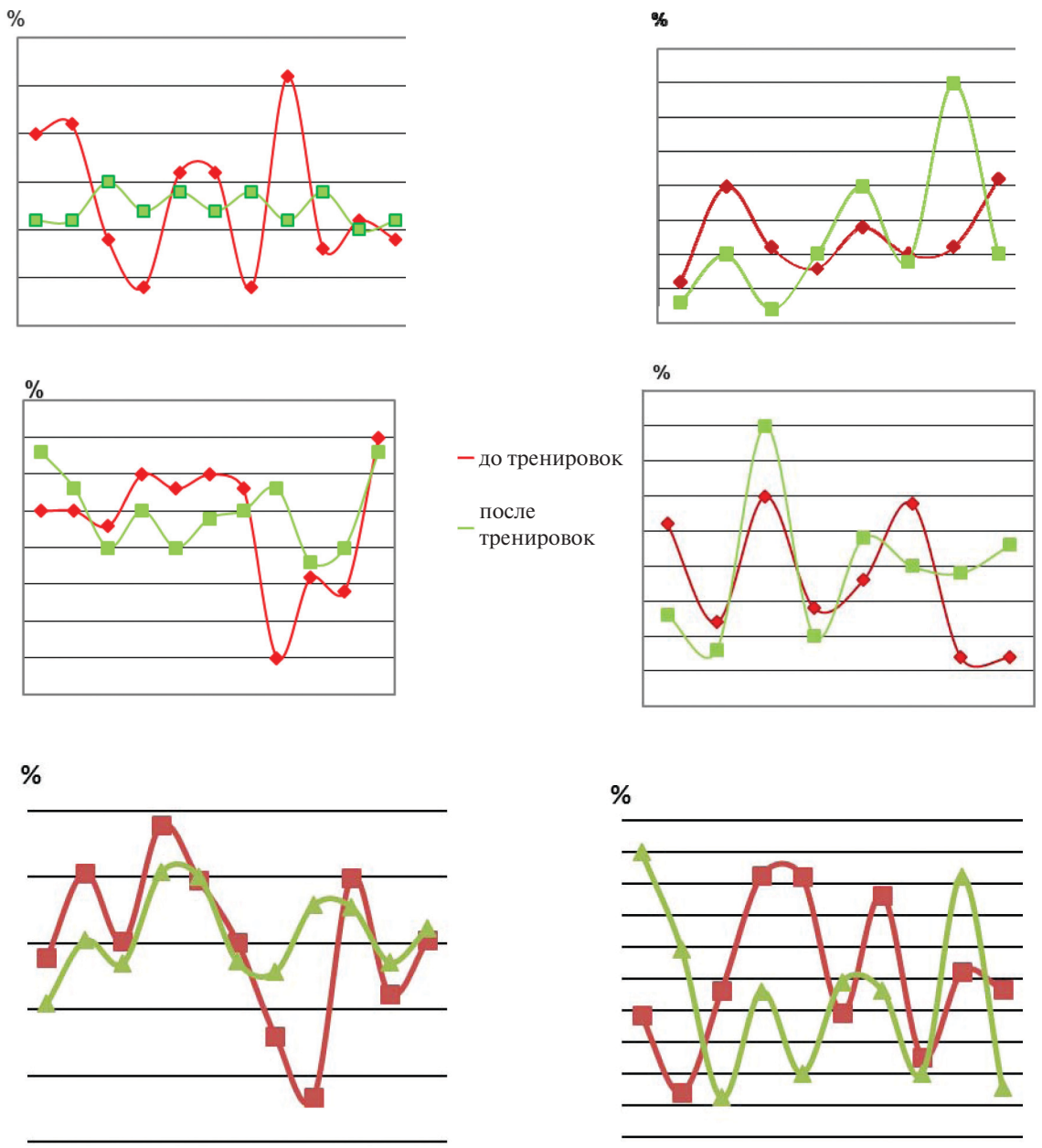

Рис. 1. Динамика САД при ортостатической нагрузке до и после ИГТ: а – в экспериментальной группе; в – в контрольной группе, ДАД: б – в экспериментальной; г – в контрольной группе и СДД: д – в экспериментальной; е – в контрольной группе. По оси ординат – изменение показателей АД по отношению к величинам, зарегистрированным в положении лежа. По оси абсцисс – порядковые номера испытуемых

74,6±4,9 до 55,5±3,4 мл). Таким образом, после ИГТ уменьшение УОК при переходе в вертикальное положение было выражено в меньшей степени. При этом величины УОК в ортостатическом положении после ИГТ были меньше ($p \leq 0,05$), рисунок 2 в.

Важнейшим гемодинамическим фактором, определяющим постоянство АД, является ОПСС [11]. Чем больше ОПСС, при неизменном сердечном выбросе, или чем больше сердечный выброс при неизменном ОПСС, тем больше АД. Для среднего АД эти факторы являются определяющими.

ОПСС до ИГТ в ортостатическом положении повышалось на 35,4% (с 148,5±7,5 до 197,7±10,3 па·с·мл$^{-1}$), а после ИГТ – на 27,8% (с 145,1±9,1 до 182,4±11,2 па·с·мл$^{-1}$) рис. 2 б. При этом ЧСС после ИГТ была достоверно ($p \leq 0,05$) ниже во всех положениях, до ИГТ в ортостатическом положении ЧСС увеличивалась на 14,8%, а после ИГТ – на 10%.

Таким образом, после ИГТ при ортостатической нагрузке наблюдалось снижение интенсивности ортостатических реакций системы кровообращения. Рефлекторные процессы, начинающиеся с хемо- и волюморецепторов, связанные с изменением их стимуляции при ИГТ, могут взаимодействовать между собой [3, 4]. Суммарный эффект активности этих зон может объяснить механизм адаптационных сдвигов

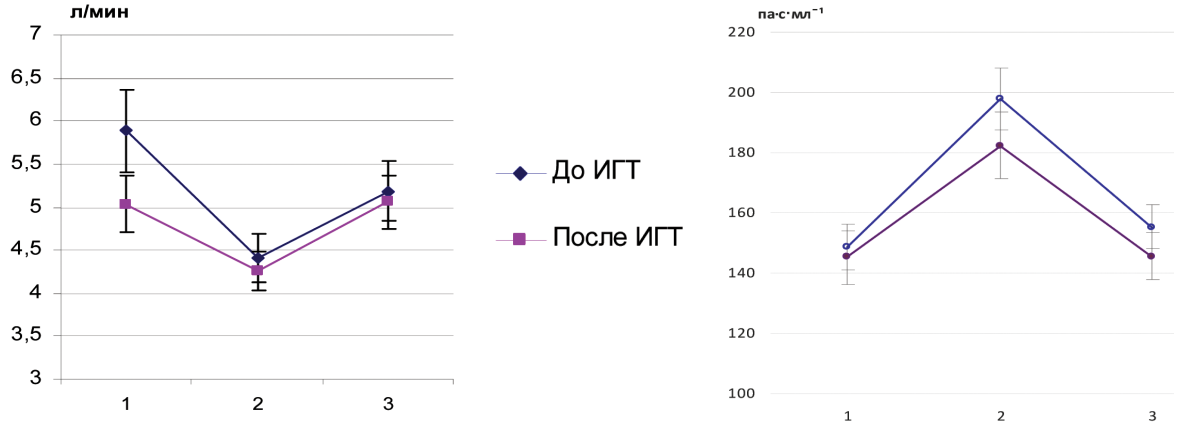

Рис. 2. Динамика МОК (а), ОПСС (б) при ортостатической нагрузке до и после ИГТ. По оси абсцисс – этапы эксперимента: 1 – лежа; 2 – ортостатическое положение; 3 – повторно лежа

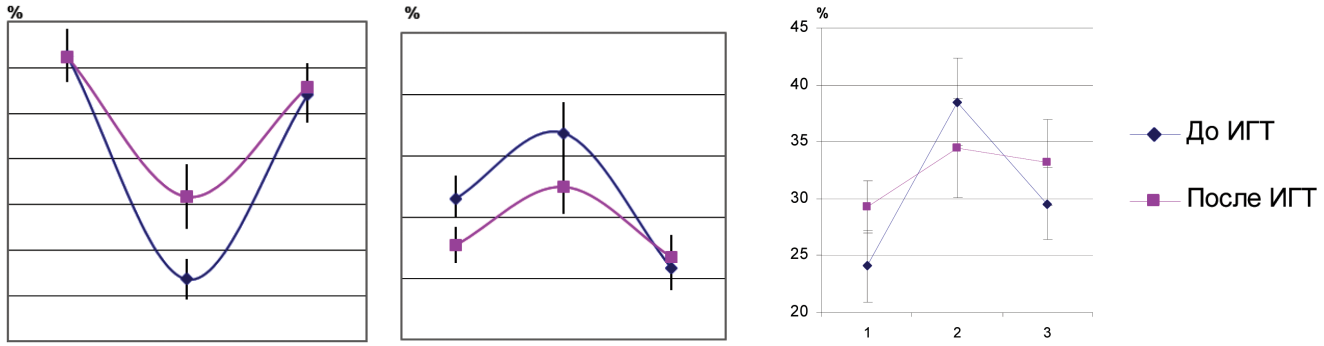

Рис. 3. Динамика мощности HF (а), LF (б), VLF (в) компонента спектрограммы сердечного ритма при ортостатической нагрузке до и после ИГТ. По оси абсцисс – этапы эксперимента: 1 – лежа; 2 – ортостатическое положение; 3 – повторно лежа

при ортостазе после ИГТ. В механизмах компенсаторных реакций системы кровообращения на ортостатическое воздействие обычно преобладает сосудистый компонент, который выражается в вазоконстрикции, направленной на уменьшение емкости вен и увеличение венозного возврата, ведущий к увеличению УОК [11]. Снижение ЧСС после ИГТ во всех положениях тела свидетельствует о влиянии ИГТ на снижение активности сердечного фактора, а рефлекторная вазоконстрикция, возникающая как компенсаторная реакция на пассивый ортостаз, при ИГТ усиливалась действием гипоксии на сосудистый тонус [14]. Чередование вазоконстрикци (при гипоксии) и вазодилятация (при нормоксии) оказывает тренирующий эффект в результате увеличения венозного возврата.

Регуляцию системы кровообращения при ортостазе оценивали с помощью анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) при регистрации ЭКГ [1, 7]. При ортостатической пробе депонирование части крови в сосудах нижних конечностей и уменьшение ее притока к сердцу вызывает активацию, преимущественно, симпатического отдела вегетативной нервной системы. На рисунке 3 а представлены изменения HF-компонента сердечного ритма. Видно, что переход в вертикальное положение приводит к уменьшению доли HF-компонента сердечного ритма, что отражает, по-видимому, усиление симпатических влияний на сердечный ритм. До ИГТ доля HF-компонента при переходе в вертикальное положение уменьшалась на 28% (с 38,2±2,1 до 16,8±1,7%). После ИГТ – на 15% (с 39,7±1,9 до 25,9±3,3% соответственно). То есть, после ИГТ наблюдалось меньшее смещение вегетативного баланса в сторону усиления активности симпатического отдела при переходе в вертикальное положение.

Переход в вертикальное положение приводил к увеличению мощности LF, что отражает увеличение симпатических влияний на сердце (см. рис. 3 б). До ИГТ мощность LF увеличилась с 36,5±1,9% в положении лежа до 41,8±2,5% в ортостатическом положении, после ИГТ, с 32,7±1,4 до 37,4±2,2% соответственно. Таким образом, ИГТ привели к уменьшению симпатических влияний в регуляции сердечного ритма при переходе в ортостатическое положение.

Мощность VLF-компонента спектра ВРС при переходе в ортостатическое положение до ИГТ увеличивалась на 93%, после ИГТ – лишь на 26%. По мнению

ряда исследователей [1, 7], данный показатель связан с гуморальной регуляцией ритма сердца, а также с увеличением роли вышележащих структур ЦНС. Его увеличение в ответ на ортостатическую пробу рассматривается как показатель недостаточности вегетативного уровня регуляции и подключение мезенцефальных и корковых механизмов, или как гиперадаптивное состояние. По-видимому, ИГТ приводили к уменьшению такого рода компенсаторных влияний.

Заключение. Установлено, что после ИГТ при переходе в вертикальное положение происходит стабилизация СДД за счет меньших колебаний САД и увеличения ДАД. Меньше снижается МОК и УОК, незначительно увеличивается ОПСС, уменьшается мощность HF и незначительно увеличивается мощность LF. В целом, ИГТ приводят к оптимизации регуляции системы кровообращения при ортостатической нагрузке. Происходит стабилизация сердечного выброса и АД, снижается напряжение регуляторных систем и активируются процессы общей адаптации испытуемых к условиям ортостаза. Выявлено, что вегетативный тонус после ИГТ в меньшей степени контролируется надсегментарными структурами. По-видимому, ИГТ как фактор неспецифической адаптации, способствует адекватной регуляции системы кровообращения и более эффективному перераспределению крови при ортостазе. Таким образом, показана целесообразность применения гипоксических тренировок для повышения ортостатической устойчивости.

Литература

1. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма с помощью комплекса «Варикард» и проблема распознавания функциональных состояний / Р.М. Баевский, Ю.Н. Семенов, А.Г. Черникова // Хронобиологические аспекты артериальной гипертензии в практике врачебно-летной экспертизы. – М., 2000. – С. 167–178.
2. Голубев, В.Н. К вопросу о некоторых аспектах адаптации человека к гипоксической гипоксии / В.Н. Голубев [и др.] // Сборник научных статей «Актуальные вопросы физиологии, психофизиологии и психологии» Всеросс. заочной научн.-практ. конф. – УФА: Риу БАШ ИФК, 2011. – С. 35–43.
3. Донина, Ж.А. Дыхание и гемодинамика при моделировании физиологических эффектов невесомости / Ж.А. Донина [и др.]. – СПб.: Наука, 2013. – 182 с
4. Колчинская, А.З. Использование ступенчатой адаптации к гипоксии в медицине / А.З. Колчинская Использование ступенчатой адаптации к гипоксии в медицине // Вестн. Росс. академии наук . – 1997. – № 5. С. 12–19.
5. Королев, Ю.Н. Влияние интервальных гипоксических тренировок на работоспособность человека / Ю.Н. Королев [и др.] // Мат. II Всеросс. заочной научн.-практ. конф. «Спорт, Олимпизм, Олимпийский край; навстречу XXII Олимпийским зимним играм и XI Параолимпийским зимним играм 2014 года в городе Сочи». – Краснодар, 2012. – С. 183–188.
6. Лесова, Е.М. Индивидуальные различия показателей гемодинамики при сочетании гипоксической и ортостатической нагрузок / В.О. Самойлов, Е.Б. Филиппова, О.В. Савокина // Вестн. Росс. военн.-мед. акад. – 2015. – № 1 (49). – С. 57–63.
7. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. 2-е изд., перераб. и доп. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
8. Михайлов, В.М. Ортостатическая устойчивость у человека в условиях 7-суточной гипокинезии и изоляции / В.М. Михайлов, А.Л. Антонюк // Физиология мышц и мышечной деятельности. – М., 2003. – С. 175–176.
9. Москаленко, Н.П. Ортостатическая проба в практической работе врача-кардиолога / Н.П. Москаленко, М.Г. Глезер // Кардиология. – 1979. – Т. 19, № 11. – 112 с.
10. Осадчий, Л.И. Положение тела и регуляция кровообращения / Л.И. Осадчий. – Л.: Наука,1982. – 144 с.
11. Реушкин, В.Н. Методологические основы изучения ортостатической устойчивости / В.Н. Реушкин, Г.Н. Реушкина, Д.В. Николаев // Научн.-практ. конф. «Клинические и физиологические аспекты ортостатических расстройств». – М., 2000. – С. 180–187.
12. Самойлов, В.О. Данные о динамике гипоксической резистентности после интервальных гипоксических тренировок / В.О. Самойлов [и др.] // Научн. Тр. III съезда физиологов СНГ «Физиология и здоровье человека». – М.: Медицина здоровье, 2011. – С. 264–265.
13. Черкасова, В.Г. Методы исследования вегетативной нервной системы: метод, рекомендации / В.Г. Черкасова [и др.]. – Пермь: Престайм, 2010. – 24 с.
14. Heistad, D. Circulatory adjustments to hypoxia / F. Abboud // Circulation. – 1980. – Vol. 61, № 3. – P. 463–470.

E.M. Lesova, E.B. Filippova, V.N. Goludev, V.B. Dergachev

Effect of interval hypoxic training on parameters of hemodynamics during orthostatic test

Abstract. *We have investigated the effect of interval hypoxic training on hemodynamic parameters during passive orthostatic test: in the test after 5 minutes of rest in the supine position was performed rise of the head part of the body by 70° using rotating table. Hemodynamic parameters have recorded heart rate, stroke volume and minute volume of blood, total peripheral resistance. Spectrogram of the heart rhythm have been processing with the allocation of low, very low and high frequency components. Interval hypoxic training was breathing a gas mixture with 10% oxygen in nitrogen for 5 min with 5-minute interval within the hour – 10 workouts each respondent. Systolic blood pressure is stabilized after interval hypoxic training in the passive orthostatic test, diastolic blood pressure increased. Regular changes in hemodynamics during orthostatic load – decrease of minute and stroke volume and an increase in total peripheral resistance are expressed to a lesser degree. There is increase in power of low-frequency component of the spectrum of heart rhythm during the transition to a vertical position after interval hypoxic training, indicating increased parasympathetic influences on heart rate. There is a decline in the role of suprasegmental structures in the control of vascular resistance and stroke volume. It is assumed that the interval hypoxic training improves non-specific adaptation of the organism and contributes to orthostatic stability.*

Key words**:** *passive orthostatic test, functional state of the organism, interval hypoxic training, components of the spectrogram of the heart rate, blood pressure, stroke volume, minute volume of blood, total peripheral resistance, cardiovascular system.*

Контактный телефон: 8-960-278-05-85 e-mail: lena_lesova@mail.ru