

УДК 57.017.2:616.12-008.31

DOI 10.34014/2227-1848-2019-3-63-71

## ВЛИЯНИЕ «БОС-ПУЛЬС»-ТРЕНИНГОВ НА ГИПОКСИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

Г.Н. Ануфриев<sup>1,2</sup>, М.И. Зинченко<sup>2</sup>,  
В.В. Гультаева<sup>2</sup>, Д.Ю. Урюмцев<sup>2</sup>, С.Г. Кривошеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Россия;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»,  
г. Новосибирск, Россия

e-mail: miz@physiol.ru

*Эффекты влияния тренировок с биологической обратной связью (БОС) достаточно подробно освещены в научной литературе, однако механизм их формирования и индивидуальные особенности возникающих реакций не до конца раскрыты.*

*Цель.* Изучение косвенного влияния цикла БОС-тренингов по управлению артериальным пульсом на гипоксическую устойчивость и состояние ВНС у здоровых людей с учетом индивидуальных особенностей реагирования.

*Материалы и методы.* В исследовании приняли участие 28 девушек и 26 юношей от 19 до 23 лет, которые прошли 15-дневный БОС-тренинг. До и после тренинга проводилось измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС), длительности RR-интервалов, артериального давления, а также гипоксический стресс-тест.

*Результаты.* По показателям успешности БОС-тренингов добровольцы ретроспективно были подразделены на группы «снижающих ЧСС» (С) и «неснижающих» (Н). У всех девушек и Н-юношей было выявлено практически двукратное снижение количества низкорезистентных к гипоксии лиц с переходом их в группу средне- и высокорезистентных. У Н-девушек по сравнению с С-девушками количество высокорезистентных выросло сильнее ( $p=0,06$ ). Сравнение резистентности между группами юношей показало также существенный прирост высокорезистентных в группе Н-юношей по сравнению с С-группой ( $p=0,01$ ). БОС-тренинг у всей группы привел к устойчивому снижению АД, как систолического ( $p<0,001$ ), так и диастолического ( $p<0,03$ ).

*Выводы.* Приведенные результаты свидетельствуют об адаптивном снижении симпатической активации в покое и в ответ на физиологический (гипоксический) стресс. При этом выраженность тренировочного эффекта зависит от индивидуальных особенностей исходного состояния вегетативной нервной системы.

**Ключевые слова:** биологическая обратная связь, частота сердечных сокращений, гипоксический стресс-тест, артериальное давление, вегетативная нервная система.

**Введение.** Как известно, стрессовая реакция в значительной степени реализуется через вегетативную нервную систему (ВНС). Однако избыточная или недостаточная реактивность может стать причиной дисфункциональных расстройств. Нарушения реактивности и равновесия ВНС проявляются, когда физиологические изменения, реализуемые в процессе борьбы или бегства, возникают при отсутствии реальной физической опасности [1, 2]. Для восстановления баланса реактивности ВНС с помощью снижения активности симпатической нервной системы или усиления активности парасимпатической активно применяются

технологии с биологической обратной связью (БОС) [3–5]. Эти технологии находят применение в лечении различных состояний, таких как головная боль напряжения, мигрень [6–8], нейрогенная дисфункция мочевого пузыря [9], синдром раздраженного кишечника [10, 11], нарушения сна [12], синдром хронической усталости [12], гипервентиляционный синдром и др. [14, 15]. В ряде работ установлено, что БОС формирует способность подавлять вегетативные физиологические реакции на отрицательные эмоциогенные раздражители [16–18].

Несмотря на то что управление ритмом сердца с помощью БОС изучено достаточно

хорошо, исследователями чаще всего описывается и оценивается прямой эффект адаптивного биоуправления на тренируемую функцию. Так как технология БОС несет в себе широкие возможности, а механизм управления сердечной деятельностью имеет сложную, многоуровневую организацию, возникает вопрос о влиянии БОС-тренировок на другие элементы вегетативного контроля. Иначе говоря, тренировка одних компонентов вегетативного управления, возможно, приводит к формированию других условных взаимосвязей элементов вегетативного контроля (косвенный эффект тренировок). Однако механизм формирования и индивидуальные особенности возникающих реакций не до конца раскрыты, что делает этот вопрос весьма актуальным.

**Цель исследования.** Изучение косвенного влияния цикла БОС-тренировок по управлению артериальным пульсом на гипоксическую устойчивость и состояние ВНС у здоровых людей с учетом индивидуальных особенностей реагирования.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 54 здоровых студента высшего учебного заведения: 28 девушек и 26 юношей. Возраст испытуемых составил от 19 до 23 лет.

До начала исследования проводились антропометрия (измерение роста-весовых показателей, расчет индекса массы тела (ИМТ)), психологическое тестирование с использованием: а) шкалы эмоциональной возбудимости [19], б) клинического опросника для выявления и оценки невротических состояний [20], в) теста по пяти факторам осознанности (FFMQ – Five Facet Mindfulness Questionnaire), адаптированного в России [21], г) опросника FCB-TI Я. Стреляу [22].

Исследование проходило в 3 этапа. На первом этапе в течение 3 дней в состоянии покоя проводилась 5-минутная запись частоты сердечных сокращений (ЧСС) и RR-интервалов с помощью прибора «БОС-пульс» с программным обеспечением BFB-test и Vira (НИИМББ, Россия). Затем проводилась гипоксическая стресс-проба (дыхание газовой смесью  $10 \pm 0,2\%$   $O_2$  в течение 10 мин) при помощи гипоксикатора «Тибет-4» (разработ-

ка на базе НИИФФМ, патент РФ № 24098 от 27.07.2002), датчика ДК-21 и анализатора кислорода ПГК-06-25P1 (ЗАО «Иносфт», Россия). Фиксировались в исходном состоянии и далее через каждые 30 с систолическое (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД) (механическим тонометром со встроенным фонендоскопом CS-105 (ООО «СиЭс Медика», Россия), ЧСС и длительность RR-интервалов, содержание кислорода во вдыхаемой смеси ( $O_2$ , %); через каждые 15 с определялась сатурация кислорода в крови ( $SpO_2$ , %), измеряемая пульсоксиметром Armed YX302 (ООО «Медимпорт», Россия). ЧСС записывалась 5 мин в исходном состоянии, последние 5 мин гипоксии и первые 5 мин фазы восстановления.

На втором этапе испытуемые проходили курс функционального управления с использованием БОС, включающий в себя 15 ежедневных тренировочных занятий. Каждая тренировка состояла из регистрации исходного состояния (5-минутная запись ЧСС и RR-интервалов) и 4 игр по 5 мин каждая, общей длительностью 25–30 мин. Испытуемые обучались на компьютеризированном комплексе «БОС-пульс» с помощью игры Vira, в которой нужно было победить соперника, осознанно уменьшая ЧСС, достигая большего расслабления в т.ч. с помощью медленного спокойного дыхания (водолаз игрока должен погружаться быстрее соперника, а скорость погружения зависит от ЧСС игрока: чем ниже ЧСС, тем быстрее движется водолаз) [6, 23].

На третьем этапе проводилась повторная гипоксическая стресс-проба, а также в течение 3 последующих дней проводилась фоновая 5-минутная запись ЧСС и RR-интервалов в состоянии покоя при нормоксии.

В работе использовались следующие статистические методы. Для непараметрического сравнения выбран U-тест Манна-Уитни. Частоты встречаемости сравнивали по одностороннему  $\chi^2$ -критерию. Для сравнения двух нормально распределенных выборок использовали t-критерий Стьюдента для зависимых и независимых переменных.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИФФМ, проведено без

риска для здоровья обследуемых, в соответствии с Хельсинкской декларацией.

В настоящем сообщении приводятся результаты, касающиеся только динамики физиологических реакций.

**Результаты и обсуждение.** По показателям успешности БОС-тренингов добровольцы ретроспективно были подразделены на группы «снижающих» ЧСС (С) и «неснижающих» (Н). Успешность определялась как среднее арифметическое «успешностей» каждого тренинга на основе длительности RR-интервалов [23].

Группы девушек состояли из 20 и 8 чел. соответственно и имели различия по результатам психологических тестов. С-девушки отличались достоверно более низким уровнем тревоги ( $p=0,018$ ), общей эмоциональности ( $p=0,012$ ), эмоциональной возбудимости ( $p=0,030$ ), высоким баллом безосеночного отношения к своему опыту ( $p=0,037$ ). Также выявлены на уровне тенденции меньшие значения эмоциональной реактивности ( $p=0,065$ ) и большие – контроля над эмоциями ( $p=0,069$ ). Таким образом, можно предположить, что девушки Н-группы более склонны к нейротизму, повышенной тревожности и самоосуждению.

У юношей С-группа состояла из 15 чел., Н-группа – из 11. С-группа отличалась достоверно более высокой фобией ( $p=0,042$ ) и низким контролем эмоций ( $p=0,028$ ), но при этом высоким баллом нереагирования ( $p=0,036$ ). Также выявлена тенденция к более высокой истерии у лиц этой группы ( $p=0,082$ ). Данные результаты не совпадают с таковыми у девушек, а в некоторых тестах они диаметрально противоположны.

Антропометрические методы позволили обнаружить достоверно ( $p=0,002$ ) меньший ИМТ у С-девушек. По результатам других работ ИМТ отрицательно коррелирует с ЧСС и положительно – с личностной и ситуативной тревожностью [24, 25], что согласуется с данным исследованием. Не выявлено различий между группами юношей по этому показателю. Также был проведен анализ ЧСС по RR-интервалам исходно перед каждой тренировкой БОС. Результаты параметра «RR-средняя» всех испытуемых в рамках одного

тренировочного дня разделяли по принципу  $M\pm 0,25S\%$ : коридор средних значений – «Medium RR», низкие и высокие значения обозначались как «Low RR» и «High RR» соответственно. Распределение по RR-интервалам представлено на рис. 1. Результаты девушек достоверно различаются ( $p=0,027$ ) по группам, у юношей достоверных различий не выявлено, но тенденция сохранена при уровне значимости  $p=0,078$ .

Таким образом, большинство испытуемых обоих полов в С-группах имели исходно более низкие значения длительности RR-интервалов, т.е. высокую ЧСС, и, напротив, Н-группа характеризовалась преимущественно высокими значениями RR и низкой ЧСС. Можно считать, что вегетативный баланс у испытуемых С-группы в значительной степени смещен в сторону симпатикотонии по сравнению с группой Н. В связи с этим результаты вполне закономерны, поскольку смысл тренировки заключался в произвольном снижении ЧСС, что гораздо легче сделать от высоких значений, нежели от низких. Данная картина позволяет заключить, что значимым параметром для успешности управления ритмом сердца является его исходная величина, зависящая от баланса активности отделов ВНС. Важно отметить, что значения ЧСС покоя до и после курса БОС-тренингов в группах не отличались ( $p>0,1$ ), что свидетельствует о сохранении исходного баланса активности отделов ВНС в покое.

Также на первом этапе исследования была проведена оценка устойчивости к гипоксии: максимальное снижение  $SpO_2$  до 86 % оценивалось как высокая гипоксическая резистентность и принималась за первый тип;  $SpO_2$  в границах от 75 до 85 % оценивали как среднюю резистентность и относили ко второму типу; снижение сатурации ниже 75 % оценивали как низкую гипоксическую резистентность и относили к третьему типу.

При анализе распределения степени резистентности к гипоксии у всех испытуемых (табл. 1) было выявлено практически двукратное снижение количества низкорезистентных лиц у девушек и среднерезистентных – в группе Н-юношей, хотя статистически достоверными являются только измене-

ния в С-группе девушек, вероятно, по причине малой выборки С-группы, а у Н-юношей изменения носят характер тенденции. Между тем у Н-девушек количество высоко резистентных по сравнению с С-девушками выросло сильнее ( $p=0,06$ ), что, вероятно, свя-

зано с более высоким уровнем парасимпатической активности ВНС у Н-группы, при котором создается резерв диапазона вариабельности сердечных сокращений, используемый для более адекватной компенсации при гипоксическом воздействии [26].

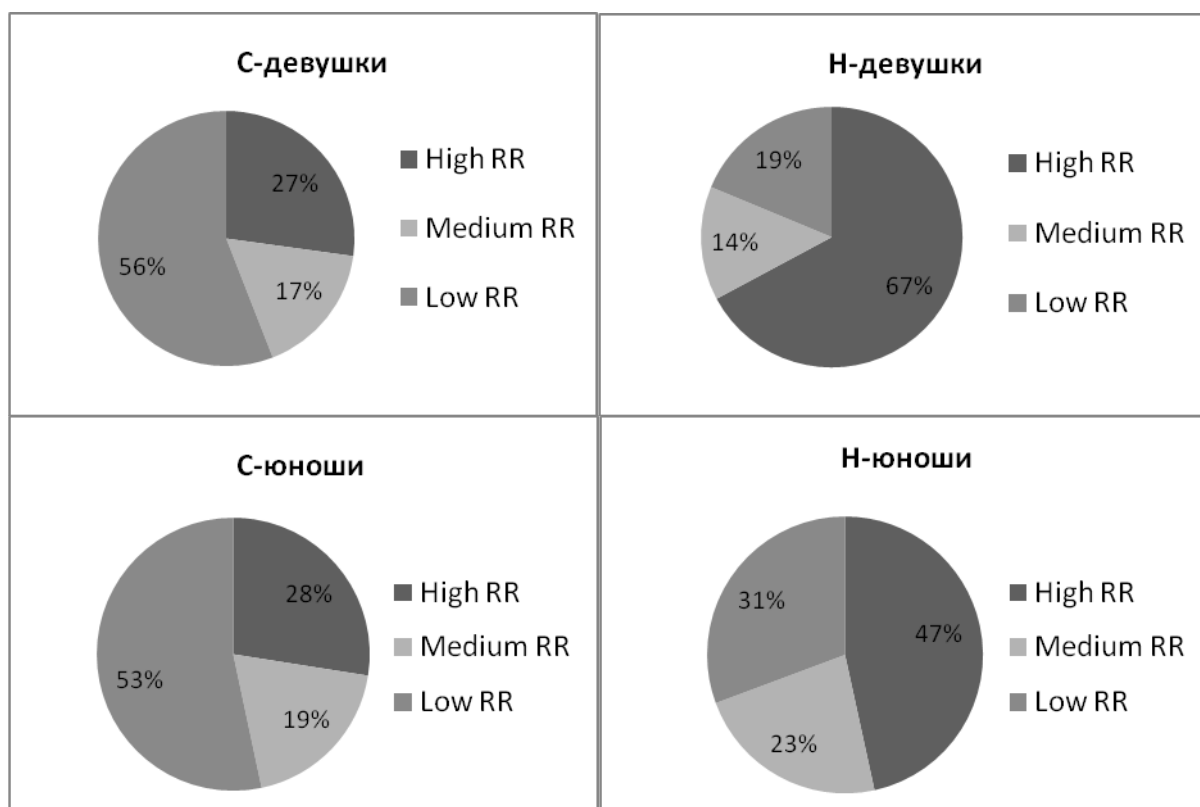


Рис. 1. Распределение в группах по исходной средней длительности интервалов RR

Таблица 1

Распределение в группах девушек и юношей по устойчивости к гипоксии, %

Группа	I тип резистентности		II тип резистентности		III тип резистентности	
	До БОС-тренинга	После БОС	До БОС-тренинга	После БОС	До БОС-тренинга	После БОС
С-девушки	5	10	30	55*	65	35*
Н-девушки	13	38**	25	25	63	38
С-юноши	47	47	53	53	-	-
Н-юноши»	36	64***	64	36***	-	-

**Примечание.** \* –  $p \leq 0,05$  по сравнению с состоянием до БОС-тренингов; \*\* –  $p=0,06$  изменения до и после тренинга между группами С и Н; \*\*\* –  $p=0,09$  – уровень тенденции по сравнению с состоянием до БОС-тренингов.

Повторная гипоксическая проба позволила констатировать отсутствие каких-либо изменений в группе С-юношей. Сравнение резистентности между группами юношей показало существенный прирост высокорезистентных в группе Н-юношей по сравнению с группой С-юношей ( $p=0,01$ ).

Данный факт может указывать на увеличение резервных возможностей организма, проявляемых в условиях острого гипоксического стресса. Вероятно, БОС-тренинг приводит к изменениям в реактивности ВНС, что

подтверждается снижением реакции АД на гипоксию: в данном исследовании было выявлено, что БОС-тренинг во всей группе привел к устойчивому снижению как систолического, так и диастолического АД (табл. 2) в периоде восстановления после гипоксии. Можно было бы предположить, что первое значение АД (до тренинга и до гипоксического теста) было выше за счет эффекта новизны, показанного ранее [27], однако гипотензивное влияние БОС на АД проявлялось и после гипоксического теста.

Таблица 2

### Влияние курса БОС-тренинга на АД перед гипоксией и на 5-й мин после гипоксии

Показатель	Перед гипоксией		После гипоксии	
	До БОС	После БОС	До БОС	После БОС
САД ( $\pm$ SD), мм рт. ст.	118,5 (11,3)	114,1 (9,6)**	115,6 (11,5)	110,0 (9,8)**
ДАД ( $\pm$ SD), мм рт. ст.	74,9 (9,5)	72,1 (8,9)*	75,6 (7,7)	73,1 (7,9)*

**Примечание.** \* –  $p<0,03$ ; \*\* –  $p<0,001$ ; t-тест для зависимых переменных, сравнение до и после курса БОС.

**Заключение.** Известно, что сосудосуживающее действие симпатического возбуждения при гипоксии противостоит сосудорасширяющему воздействию локальной гипоксемии в большом круге кровообращения (в т.ч. адаптивной гиперемии в головном мозге), способствуя системной гипертензии и повышенному сосудистому сопротивлению [28]. Приведенные результаты свидетельствуют об адаптивных процессах ВНС: после гипоксического стресса симпатическая активация носит менее выраженный характер по сравнению с состоянием до БОС-тренингов.

В исследовании показано снижение у испытуемых АД в покое и в ответ на гипоксический стресс-тест (в периоде восстановления) после курса БОС-тренингов. На основании данных о снижении АД можно сделать вывод о повышении адаптационных возможностей ВНС в результате БОС-тренингов, что проявляется в снижении симпатической ак-

тивации после гипоксии, т.е. более быстром восстановлении, и в увеличении устойчивости к гипоксии по показателям сатурации крови кислородом.

Обнаруженное повышение адаптивности ответа на гипоксию под действием БОС-тренинга актуально, с одной стороны, для лиц, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а с другой – для здоровых лиц, занимающихся горными восхождениями, при авиаперелетах, в пожилом возрасте [29]. Биоуправление ритмом сердца позволяет обучаться произвольному контролю ЧСС, корректирует работу ВНС, приводит к расширению адаптивных возможностей и адекватной реакции в условиях стресса. Особо стоит отметить, что у некоторых индивидуумов БОС-тренинг не оказывает влияния на реактивность ВНС, что, возможно, связано с их психофизиологическими характеристиками.

### Литература

1. Морозов В.Н., Хадарцев А.А. К современной трактовке механизмов стресса. Вестник новых медицинских технологий. 2010; 17 (1): 15–17.

2. *Кривошеков С.Г.* Стресс, функциональные резервы и здоровье. Сибирский педагогический журнал. 2012; 9: 104–109.
3. *Сороко С.И., Трубочев В.В.* Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника-сервис; 2010. 594.
4. *Кулик А.Л., Яблчанский Н.И.* Биологическая обратная связь и современная клиническая практика. Вестник ХНУ имени Каразина. 2011; 975 (22): 82–93.
5. *Демин Д.Б., Поскотникова Л.В.* Физиологические основы методов функционального биоуправления. Экология человека. 2014; 9: 48–59.
6. *Джафарова О.А., Фрицлер И.В., Шубина О.С.* Биоуправление при лечении головных болей напряжения. В кн.: Штарк М.Б., Шварц М., ред. Биоуправление-4: Теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИС; 2002: 238–241.
7. *Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Теремнцева Е.С.* Эффективность БОС-терапии головной боли напряжения у пациентов с различными особенностями автономной нервной системы. Российский медицинский журнал. 2014; 2: 15–18.
8. *Пузин М.Н., Кипарисова Е.С., Хоженко Е.В.* Биоуправление и болевые расстройства. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2017; 20: 162.
9. *Моисеев А.Б., Паршина О.Б., Кольбе О.Б.* Лечение нейрогенных дисфункций мочевого пузыря у детей с использованием метода биологической обратной связи. Педиатрия. 2008; 87 (3): 41–45.
10. *Трембач Г.А., Коротко Г.Ф.* Использование адаптивного биоуправления с обратной связью в лечении синдрома раздраженного кишечника. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2009; 1: 67.
11. *Stern M.J., Guiles R.A., Gevirtz R.* HRV Biofeedback for pediatric irritable bowel syndrome and functional abdominal pain: a clinical replication series. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2014; 39 (3–4): 287–291.
12. *Ebben M.R., Kurbatov V., Pollak C.P.* Moderating laboratory adaptation with the use of a heart-rate variability biofeedback device (Stress Eraser). Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2009; 34 (4): 245–249.
13. *Windthorst P., Mazurak N., Kuske M., Hipp A., Giel K.E., Enck P., Nieb A., Zipfel S., Teufel M.* Heart rate variability biofeedback therapy and graded exercise training in management of chronic fatigue syndrome: An exploratory pilot study. J. Psychosom. Res. 2017; 93: 6–13.
14. *Гришин О.В., Парамошкина Е.В., Зинченко М.И., Гришин В.Г., Устюжанинова Н.В.* Психологический статус и дыхание у детей с психосоматической патологией. Бюллетень СО РАМН. 2009; 29 (6): 67–72.
15. *Гришин О.В., Гульяева В.В., Зинченко М.И., Жилина И.Г., Урюмцев Д.Ю., Гришин В.Г., Барабаш Е.В.* Применение респираторного биоуправления у больных ИБС после коронарного шунтирования: пилотное исследование. Сибирский научный медицинский журнал. 2017; 37 (2): 49–54.
16. *Peira M., Fredrikson M., Pourtois G.* Controlling the emotional heart: Heart rate biofeedback improves cardiac control during emotional reactions. Int. J. Psychophysiol. 2014; 91 (3): 225–231.
17. *Francis H.M., Penglis K.M., McDonald S.* Manipulation of heart rate variability can modify response to anger-inducing stimuli. Soc. Neurosci. 2015; 11 (5): 545–552.
18. *Lin I.M., Fan S.Y., Lu H.C., Lin T.H., Chu C.S., Kuo H.F., Lee C.S., Lu Y.H.* Randomized controlled trial of heart rate variability biofeedback in cardiac autonomic and hostility among patients with coronary artery disease. Behav. Res. Ther. 2015; 70: 38–46.
19. *Рукавишников А.А., Соколова М.В.* Шкала эмоциональной возбудимости. Ярославль: НПЦ «Психодиагностика»; 1996. 12.
20. *Менделевич В.Д.* Психология девиантного поведения: учебное пособие. СПб.: Речь; 2005. 445.
21. *Юмартова Н.М.* Осознанность (mindfulness). Психологические характеристики и инструменты измерения. Научные исследования выпускников факультета психологии СПбГУ. 2013; 1 (1): 267–273.
22. *Strelau J., Zawadzki B.* The Formal Characteristics of Behaviour -Temperament Inventory (FCB-TI): theoretical assumptions and scale construction. Eur. J. Pers. 1993; 7 (5): 313–320.
23. *Лазарева О.Ю.* Профилактика хронического стресса среди подростков с использованием игрового компьютерного биоуправления. В кн.: Штарк М.Б., Шварц М., ред. Биоуправление-4: Теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИС; 2002: 74–84.

24. Димитриев Д.А., Карпенко Ю.Д., Димитриев А.Д. Влияние индекса массы тела на вариабельность сердечного ритма у студентов в условиях относительного покоя и экзаменационного стресса. Социальные аспекты здоровья населения. 2012; 6 (28).
25. Драпкина О.М., Шенель Р.Н., Кабурова А.Н. Оценка субъективной ситуационной и личностной тревожности у лиц с избыточной массой тела. Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. 2017; 1 (1): 83–88.
26. Кривошеков С.Г., Некipelова Н.В., Балиоз Н.В. Индивидуально-типологические особенности системных реакций организма на гипоксическое воздействие в детском возрасте. Гуманитарные науки и образование в Сибири. 2014; 3 (15): 99–104.
27. Гришин О.В., Зинченко М.И., Гултыяева В.В., Урюмцев Д.Ю., Гришин В.Г. Артериальное давление в условиях внутривизитного измерения у нормотензивных добровольцев. Физиология человека. 2017; 43 (6): 71–79.
28. Dempsey J.A., Morgan B.J. Humans in hypoxia: A conspiracy of maladaptation?! Physiology. 2015; 30 (4): 304–316.
29. Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., Некipelова Н.В., Капилевич Л.В. Возрастные, гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие. Физиология человека. 2014; 40 (6): 34–45.

## INFLUENCE OF BIOFEEDBACK-PULSE-TRAINING ON HYPOXIC STABILITY

G.N. Anufriev<sup>1,2</sup>, M.I. Zinchenko<sup>2</sup>, V.V. Gul'tyaeva<sup>2</sup>,  
D.Yu. Uryumtsev<sup>2</sup>, S.G. Krivoshechekov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

<sup>2</sup>State Scientific-Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk, Russia

e-mail: miz@physiol.ru

*The effects of biofeedback trainings (BFT) are sufficiently detailed in scientific literature. However, the mechanism of their formation and individual characteristics of the reactions are not fully disclosed.*

*The purpose of the paper is to study the indirect effect of biofeedback trainings aimed at managing arterial pulse on hypoxic stability and ANS state in healthy people, taking into account the individual characteristics of the response.*

*Materials and Methods. The study involved 28 young women and 26 young men (19–23 years old), who underwent a 15-day biofeedback training. The authors measured the trial subjects' heart rate (HR), duration of RR-intervals, blood pressure before and after the training. A hypoxic stress test was also carried out.*

*Results. According to the results of the biofeedback trainings, all the volunteers were retrospectively divided into two groups: "reducing heart rate" (R) and "non-reducing heart-rate" (N). All females and N males demonstrated an almost twofold decrease in the number of low-resistant-to-hypoxia persons with their transition into a group of medium- and high-resistant ones. N-girls, if compared with R-girls, showed a greater increase in the number of highly resistant persons ( $p=0.06$ ). Resistance comparison between male groups also showed a significant increase in highly resistant persons in N-males, if compared to R-males ( $p=0.01$ ). Biofeedback-training in all groups led to a steady blood pressure decrease (both systolic ( $p<0.001$ ) and diastolic ( $p<0.03$ )).*

*Conclusion. The results obtained indicate an adaptive decrease in sympathetic activation at rest and in response to physiological (hypoxic) stress. Moreover, training effect intensity depends on the individual characteristics of the ANS initial state.*

**Keywords:** biofeedback, heart rate, hypoxic stress test, blood pressure, autonomic nervous system.

### References

1. Morozov V.N., Khadartsev A.A. K sovremennoy traktovke mekhanizmov stressa [Current interpretation of stress mechanisms]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2010; 17 (1): 15–17 (in Russian).
2. Krivoshechekov S.G. Stress, funktsional'nye rezervy i zdorov'e [Stress, functional reserves and health]. *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal*. 2012; 9: 104–109 (in Russian).

3. Soroko S.I., Trubachev V.V. *Neyrofiziologicheskie i psikhofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya* [Neurophysiological and psychophysiological foundations of adaptive biocontrol]. St. Petersburg: Politekhniko-servis; 2010. 594 (in Russian).
4. Kulik A.L., Yabluchanskiy N.I. Biologicheskaya obratnaya svyaz' i sovremennaya klinicheskaya praktika [Biofeedback and modern clinical practice]. *Vestnik KhNU imeni Karazina*. 2011; 975 (22): 82–93 (in Russian).
5. Demin D.B., Poskotnikova L.V. Fiziologicheskie osnovy metodov funktsional'nogo bioupravleniya [Physiological basis of functional biocontrol methods]. *Ekologiya cheloveka*. 2014; 9: 48–59 (in Russian).
6. Dzhafarova O.A., Fritsler I.V., Shubina O.S. Bioupravlenie pri lechenii golovnykh boley napryazheniya [Biofeedback in the treatment of tension headaches]. In the book: Shtark M.B., Shvarts M., ed. *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and Practice]. Novosibirsk: TsERIS; 2002: 238–241 (in Russian).
7. Sorokina N.D., Selitskiy G.V., Terementseva E.S. Effektivnost' BOS-terapii golovnoy boli napryazheniya u patsientov s razlichnymi osobennostyami avtonomnoy nervnoy sistemy [Efficacy of biofeedback therapy for tension headache in patients with various types of autonomic nervous system]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 2: 15–18 (in Russian).
8. Puzin M.N., Kiparisova E.S., Khozhenko E.V. Bioupravlenie i bolevye rasstroystva [Biofeedback and pain disorders]. *Mediko-sotsial'naya ekspertiza i rehabilitatsiya*. 2017; 20: 162 (in Russian).
9. Moiseev A.B., Parshina O.B., Kol'be O.B. Lechenie neyrogennykh disfunktsiy mochevogo puzyrya u detey s ispol'zovaniem metoda biologicheskoy obratnoy svyazi [Treatment of neurogenic bladder dysfunctions in children with biological feedback method]. *Pediatriya*. 2008; 87 (3): 41–45 (in Russian).
10. Trembach G.A., Korot'ko G.F. Ispol'zovanie adaptivnogo bioupravleniya s obratnoy svyaz'yu v lechenii sindroma razdrazhenogo kishchnika [Adaptive biofeedback in treatment of irritable bowel syndrome]. *Ekspertim'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*. 2009; 1: 67 (in Russian).
11. Stern M.J., Guiles R.A., Gevirtz R. HRV Biofeedback for pediatric irritable bowel syndrome and functional abdominal pain: a clinical replication series. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2014; 39 (3–4): 287–291.
12. Ebben M.R., Kurbatov V., Pollak C.P. Moderating laboratory adaptation with the use of a heart-rate variability biofeedback device (Stress Eraser). *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2009; 34 (4): 245–249.
13. Windthorst P., Mazurak N., Kuske M., Hipp A., Giel K.E., Enck P., Nieb A., Zipfel S., Teufel M. Heart rate variability biofeedback therapy and graded exercise training in management of chronic fatigue syndrome: An exploratory pilot study. *J. Psychosom. Res.* 2017; 93: 6–13.
14. Grishin O.V., Paramoshkina E.V., Zinchenko M.I., Grishin V.G., Ustyuzhaninova N.V. Psikhologicheskiy status i dykhanie u detey s psikhosomaticheskoy patologiyey [Psychological status and breathing in children with psychosomatic pathology]. *Byulleten' SO RAMN*. 2009; 29 (6): 67–72 (in Russian).
15. Grishin O.V., Gul'tyaeva V.V., Zinchenko M.I., Zhilina I.G., Uryumtsev D.Yu., Grishin V.G., Barabash E.V. Primenenie respiratornogo bioupravleniya u bol'nykh IBS posle koronarnogo shuntirovaniya: pilotnoe issledovanie [Respiratory biocontrol in patients with coronary artery disease after coronary bypass surgery: Pilot study]. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*. 2017; 37 (2): 49–54 (in Russian).
16. Peira M., Fredrikson M., Pourtois G. Controlling the emotional heart: Heart rate biofeedback improves cardiac control during emotional reactions. *Int. J. Psychophysiol.* 2014; 91 (3): 225–231.
17. Francis H.M., Penglis K.M., McDonald S. Manipulation of heart rate variability can modify response to anger-inducing stimuli. *Soc. Neurosci.* 2015; 11 (5): 545–552.
18. Lin I.M., Fan S.Y., Lu H.C., Lin T.H., Chu C.S., Kuo H.F., Lee C.S., Lu Y.H. Randomized controlled trial of heart rate variability biofeedback in cardiac autonomic and hostility among patients with coronary artery disease. *Behav. Res. Ther.* 2015; 70: 38–46.
19. Rukavishnikov A.A., Sokolova M.V. *Shkala emotsional'noy vozбудimosti* [Emotional excitability scale]. Yaroslavl': NPTs «Psikhodiagnostika»; 1996. 12 (in Russian).
20. Mendelevich V.D. *Psikhologiya deviantnogo povedeniya: uchebnoe posobie* [Psychology of deviant behavior: manual]. St. Petersburg: Rech'; 2005. 445 (in Russian).
21. Yumartova N.M. Osoznannost' (mindfulness). Psikhologicheskie kharakteristiki i instrumenty izmereniya [Mindfulness. Psychological characteristics and measurement tools]. *Nauchnye issledovaniya vypusknikov fakul'teta psikhologii SPbGU* [Scientific research of Psychology graduates, St. Petersburg State University]. 2013; 1 (1): 267–273 (in Russian).



22. Strelau J., Zawadzki B. The Formal Characteristics of Behaviour -Temperament Inventory (FCB-TI): theoretical assumptions and scale construction. *Eur. J. Pers.* 1993; 7 (5): 313–320.
23. Lazareva O.Yu. Profilaktika khronicheskogo stressa sredi podrostkov s ispol'zovaniem igrovogo komp'yuternogo bioupravleniya [Prevention of chronic stress among adolescents using in-game computer biofeedback]. In the book: Shtark M.B., Shvarts M., ed. *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and practice]. Novosibirsk: TsERIS; 2002: 74–84 (in Russian).
24. Dimitriev D.A., Karpenko Yu.D., Dimitriev A.D. Vliyanie indeksa massy tela na variabel'nost' serdechnogo ritma u studentov v usloviyakh otnositel'nogo pokoya i ekzamenatsionnogo stressa [Effect of body mass index on heart rate variability in students under relative rest and examination stress]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya.* 2012; 6 (28) (in Russian).
25. Drapkina O.M., Shepel' R.N., Kaburova A.N. Otsenka sub"ektivnoy situatsionnoy i lichnostnoy trevozhnosti u lits s izbytochnoy massoy tela [Assessment of subjective, situational and personal anxiety in overweight individuals]. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski.* 2017; 1 (1): 83–88 (in Russian).
26. Krivoshchekov S.G., Nekipelova N.V., Balioz N.V. Individual'no-tipologicheskie osobennosti sistemnykh reaktsiy organizma na gipoksicheskoe vozdeystvie v detskom vozraste [Individual and typological characteristics of bodily reactions to hypoxic effects in childhood]. *Gumanitarnye nauki i obrazovanie v Sibiri.* 2014; 3 (15): 99–104 (in Russian).
27. Grishin O.V., Zinchenko M.I., Gul'tyaeva V.V., Uryumtsev D.Yu., Grishin V.G. Arterial'noe davlenie v usloviyakh vnutrivizitnogo izmereniya u normotenzivnykh dobrovol'tsev [Blood pressure measurements under within-visit conditions in normotensive volunteers]. *Fiziologiya cheloveka.* 2017; 43 (6): 71–79 (in Russian).
28. Dempsey J.A., Morgan B.J. Humans in hypoxia: A conspiracy of maladaptation?! *Physiology.* 2015; 30 (4): 304–316.
29. Krivoshchekov S.G., Balioz N.V., Nekipelova N.V., Kapilevich L.V. Vozrastnye, gendernye i individual'no-tipologicheskie osobennosti reagirovaniya na ostroe gipoksicheskoe vozdeystvie [Age, gender and individual typological characteristics of response to acute hypoxic effects]. *Fiziologiya cheloveka.* 2014; 40 (6): 34–45 (in Russian).