

УДК [612.17+612.821.6]:57.045

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БОС-КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЫСОКОГОРНОМ ВОСХОЖДЕНИИ

© 2018 г. А. В. Латанов, *Н. Б. Панкова

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»;

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии», г. Москва

Целью работы была апробация метода коррекции функционального состояния участников высокогорной экспедиции при помощи технологии биологической обратной связи (БОС). *Методы.* Исследована динамика показателей вариабельности сердечного ритма во время сеансов БОС в условиях высокогорья (экспедиция Ф. Ф. Конюхова на Эверест). Сеансы проведены до подъёма в горы (сеанс 1) и во время акклиматизации на высотах 6 400 м (сеанс 2) и 5 300 м (сеанс 3) над уровнем моря. В эксперименте приняли участие двое мужчин, близких по возрасту, телосложению и спортивной квалификации. Каждый сеанс БОС-тренинга включал несколько попыток (запусков компьютерной игры, целью которой было снижение частоты сердечных сокращений – ЧСС) длительностью 80–105 секунд, все сеансы проведены в позднее вечернее время (22.00–24.00). *Результаты.* Оба участника исследования во всех сеансах БОС-тренинга эффективно снижали ЧСС и продемонстрировали определенную динамику показателей вариабельности сердечного ритма по мере выполнения попыток во время каждого сеанса. Исходя из такой динамики можно предположить, что до восхождения (в сеансе 1 БОС-тренинга) цель игры в виде снижения ЧСС достигалась за счёт усиления симпатической активности (возрастание отношения мощностей низких и высоких частот – LF/HF) при снижении общего уровня вегетативной активности (общей мощности спектра – TP). При упрочении нового навыка, к сеансу 3, снижение ЧСС у обоих участников исследования сопровождалось возрастанием общего уровня вегетативной активности (TP) и снижением стресс-индекса. Изменения в автономном балансе (отношение LF/HF) в сеансе 3 у испытуемых оказались разнонаправленными. *Вывод.* Полученные результаты позволяют предположить, что достижение конечной цели в сеансах БОС-коррекции (снижение ЧСС) у обоих участников эксперимента сопровождалось сдвигами в уровне активности систем автономной регуляции. При этом направленность сдвигов зависела от стадии формирования навыка и была специфична для каждого испытуемого.

Ключевые слова: высокогорье, вариабельность сердечного ритма, биологическая обратная связь

BIOFEEDBACK CORRECTION FOR OPTIMIZATION OF FUNCTIONAL STATE OF HUMAN ORGANISM DURING HIGH-ALTITUDE CLIMBING

A. V. Latanov, *N. B. Pankova

Department of Higher Nervous Activity, Biological Faculty, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow;

*Laboratory of Physical, Chemical and Ecological Pathophysiology, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

The *aim* of the work was the approbation of a method for correcting the functional state of participants in a high-altitude expedition using biofeedback (BF) technologies. *Methods.* A study of the dynamics of heart rate (HR) variability during the sessions of biofeedback training in the highlands (F. F. Konyuhov Everest expedition) was carried out. The sessions were held before the mountain climbing (session 1) and during the acclimatization at 6 400 m (session 2) and 5 300 m (session 3) above sea level. Two climbers close in age, physique and athletic skills participated in the experiment. Each session of BF training included several computer game trials. The purpose of trial was to decelerate the HR. The trial continued for 80–105 seconds. All sessions were held in the late evening between 22.00 and 24.00. *Results.* Both participants achieved effective the HR fall during all sessions of BF training and demonstrated certain dynamics of HR variability in each session. Based on the revealed dynamics we assumed that before climbing the HR fall was achieved by an increase in sympathetic activity (increase in LF/HF ratio) with a decrease in the overall level of autonomic activity (total power spectrum, TP). As BF training (with consolidation of a new skill) for the session 3 deceleration the HR in both participants was accompanied by an increase in the overall level of autonomic activity (TP) and a decrease in the stress index. The changes in autonomic balance sheet (the LF/HF ratio) during session 3 were oppositely directed. *Conclusion.* The data received suggest that the achievement of the final goal in the sessions of BF correction (deceleration of the HR) in two participants of the experiment was accompanied by shifts in the level of activity of autonomic regulation systems. In this case, the direction of the shifts depended on the stage of formation of the skill and was specific for each subject.

Key words: high altitude, heart rate variability, biofeedback

Библиографическая ссылка:

Латанов А. В., Панкова Н. Б. Использование метода бос-коррекции для оптимизации функционального состояния организма человека при высокогорном восхождении // Экология человека. 2018. № 4. С. 22–29.

Latanov A. V., Pankova N. B. Biofeedback Correction for Optimization of Functional State of Human Organism during High-Altitude Climbing. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 4, pp. 22-29.

Стремления человека покорять горные вершины не могут остановить ни перспектива развития горной болезни, ни тяжелейшие испытания на прочность собственного организма в разреженной атмосфере при низких температурах, штормовых ветрах и прин-

ципально большей солнечной инсоляции. На высокогорье, в условиях естественной гипобарической гипоксии, в организме спортсменов наблюдается снижение сатурации крови кислородом, что вызывает соответствующие сдвиги в функциональном состоянии

спортсменов. Так, известно, что в условиях высокогорья происходят изменения в сердечно-сосудистой системе и в системах автономной регуляции [7]. Кроме того, высокогорная гипоксия является причиной нарушений функционального состояния головного мозга, что отражается в характерных сдвигах ЭЭГ во время сна и бодрствования [2].

При этом степень снижения сатурации находится в корреляционной связи с изменениями показателей вариабельности сердечного ритма (СР), отражающих уровень симпатической активности, в частности с мощностью диапазона низких частот (LF) [20]. Вариабельность СР является удобным показателем оценки активности автономной регуляции [1, 4, 8], который успешно применяется в биомедицинских исследованиях на высокогорье [12, 18]. Важно, что точность оценки данной группы показателей оказалась близка при использовании разных приборов, в том числе портативной техники с длительность регистрации ЭКГ от 55 секунд. Возможность использования коротких записей для получения валидных результатов в условиях реального восхождения имеет принципиальное значение, хотя и ограничивает список оцениваемых параметров (становится ненадёжной оценка мощности диапазона очень низких частот – VLF).

Целью настоящего исследования стала апробация метода коррекции функционального состояния участников высокогорной экспедиции при помощи технологии биологической обратной связи (БОС). Планировалось, что данный подход окажется полезным для облегчения и ускорения процессов адаптации спортсменов, в частности для нормализации частоты сердечных сокращений (ЧСС). Непрерывная регистрация СР во время сеансов БОС-коррекции предполагала также возможность оценки состояния систем автономной регуляции по показателям вариабельности СР для изучения физиологических механизмов происходящих сдвигов базовых параметров (ЧСС).

Методы

Данное исследование относится к наблюдательному описательному типу, в котором на малой выборке испытуемых показана принципиальная возможность использования метода БОС-коррекции для нормализации ЧСС в условиях высокогорья.

Исследование проведено во время экспедиции Ф. Ф. Конюхова на Эверест [9]. В исследовании добровольно, на основе принципов информированного согласия, приняли участие два человека (испытуемый 1 и испытуемый 2), мужчины близкого возраста, телосложения и спортивной квалификации. Каждый испытуемый провёл по несколько сеансов БОС-тренингов на разной высоте над уровнем моря перед экспедицией и во время акклиматизации (табл. 1).

Тренинг проводили с помощью программно-аппаратного комплекса «БОСЛАБ-профессиональный», ООО «Компьютерные системы биоуправления», Новосибирск, вариант тренинга – игра «Вира». Игра представляют собой психофизиологическую модель

Таблица 1

Результаты оценки нормальности распределения длительности кардиоинтервалов по критерию Шапиро – Уилка

Дата, сеанс	Высота над уровнем моря, место	Результаты статистической оценки вероятности H_0 -гипотезы о распределении длительностей кардиоинтервалов по закону нормального распределения (по критерию Шапиро – Уилка)	
		Испытуемый 1	Испытуемый 2
31.03.2012 (сеанс 1)	200 м (Москва)	n = 2029 W = 0,980 p < 0,001	
14.04.2012 (сеанс 1)	3900 м (Шигатце)		n = 1848 W = 0,957 p < 0,001
29.04.2012 (сеанс 2)	6400 м (передовой базовый лагерь)	n = 686 W = 0,982 p < 0,001	n = 928 W = 0,879 p < 0,001
07.05.2012 (сеанс 3)	5300 м (базовый лагерь)	n = 612 W = 0,985 p < 0,001	n = 397 W = 0,987 p < 0,001

стрессовой ситуации: два водолаза погружаются в водоём, за одного водолаза «играет» компьютер, за второго – участник эксперимента. По алгоритму игры чем медленнее пульс, тем быстрее двигается водолаз. Задачей испытуемых было достичь цели первым, то есть с помощью игры «Вира» снизить свою ЧСС. Каждая попытка длилась 80–105 секунд, количество попыток за сеанс не ограничивалось. Все сеансы проведены в позднее вечернее время (22.00–24.00). Сеанс 1 проведён до начала восхождения, 31-го марта (в Москве) участником 1 и 14-го апреля участником 2 (в городе Шигатце, Тибет). Во время акклиматизации, перед подъёмом на Эверест, в передовом базовом лагере на высоте 6 400 м (29-го апреля) проведён сеанс 2, в базовом лагере на высоте 5 300 м (7-го мая) проведён сеанс 3.

Непрерывную регистрацию СР проводили методом пальцевой фотоплетизмографии, фиксировали текущие значения длительности кардиоинтервалов. По результатам каждой попытки по массивам кардиоинтервалов рассчитывали статистические показатели вариабельности СР (стресс-индекс, SDNN, pNN50), спектральные показатели (общая мощность спектра – TP, мощность отдельных диапазонов VLF, LF и высоких частот – HF), а также расчётные индексы на их основе (LF/HF, индекс централизации).

Оценку вероятности H_0 -гипотезы о распределении полученных массивов длительностей кардиоинтервалов по закону нормального распределения проводили по критерию Шапиро – Уилка, рекомендуемого для ситуаций, когда отсутствует априорная информация о типе отклонения от нормального распределения [10]. В использованном нами пакете статистических программ Statistica 7.0 применяется модифицированный вариант критерия Шапиро – Уилка [19], пригодный для оценки больших выборок объёмом до 2 000 элементов. Поскольку распределение длительности кардиоинтервалов во всех выборках не соответствовало закону нормального распределения (см. табл. 1), для

описания результатов нами использованы медиана (Me) и квантили (Q1 и Q3). Динамику показателей в сеансе БОС-тренинга по совершённым попыткам оценивали с использованием уравнения линейной регрессии, статистическую значимость такой динамики рассчитывали по алгоритму One-way ANOVA.

Результаты

Как показали результаты обработки непрерывных записей СР, оба участника эксперимента смогли эффективно управлять своей ЧСС. В сеансах, проведённых до восхождения, и в период акклиматизации выявлен статистически значимый тренд к возрастанию длительности кардиоинтервалов по мере выполнения попыток (рис. 1, табл. 2).

Малая выборка испытуемых не позволяет провести корректный статистический анализ показателей, рассчитываемых на основе массива длительностей кардиоинтервалов за каждую попытку в сеансе БОС-коррекции. Поэтому для статистических и спектральных показателей мы приводим лишь индивидуальные результаты. Так, в отношении ТР – общей мощности спектра variability СР – обнаружено, что данный показатель у обоих испытуемых в большинстве попыток был ниже нормальных величин (ниже 800 мс²) [13]. В сеансе до восхождения показатель ТР у обоих участников эксперимента в динамике попыток снижался. В период акклиматизации (сеансы 2 и 3) динамика ТР у испытуемых оказалась различной,

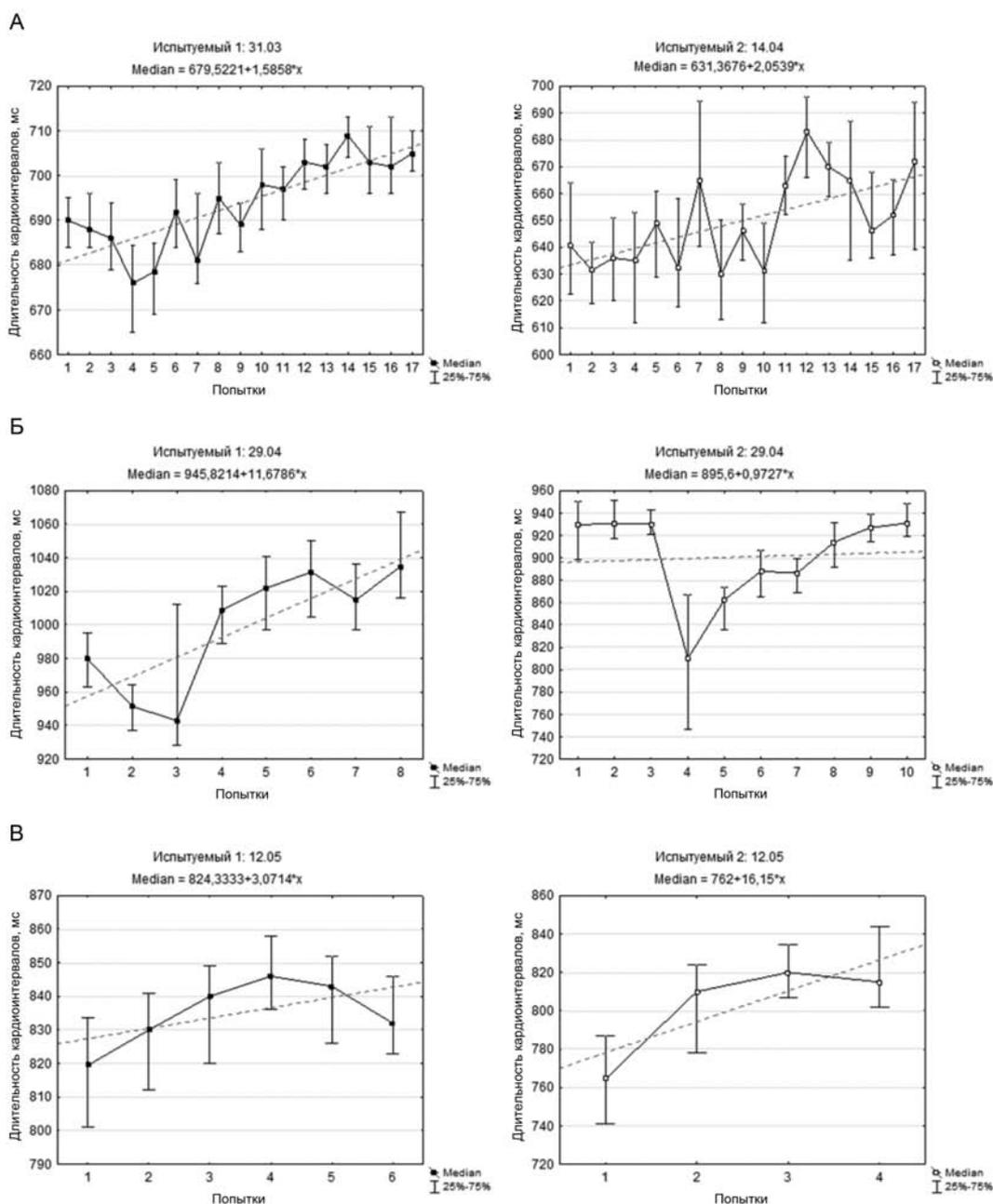


Рис. 1. Длительность кардиоинтервалов в попытках сеансов БОС-коррекции: А – до подъёма на высокогорье; Б – в передовом базовом лагере (6 400 м); В – в базовом лагере (5 300 м). Пунктиром обозначена линия тренда, отраженного линейной функцией

Таблица 2

Динамика длительности кардиоинтервалов в сеансах БОС-коррекции (уравнение линейной регрессии и результаты оценки статистической значимости влияния фактора «попытка» с использованием метода дисперсионного факторного анализа One-way ANOVA)

Сеанс	Испытуемый 1	Испытуемый 2
1	$Y = 679,522 + 1,586 \cdot x$ $F(16, 2012) = 93,624$, $p < 0,001$	$Y = 636,377 + 2,054 \cdot x$ $F(16, 1831) = 21,746$, $p < 0,001$
2	$Y = 945,821 + 11,679 \cdot x$ $F(7, 678) = 59,681$, $p < 0,001$	$Y = 895,600 + 0,973 \cdot x$ $F(9, 918) = 82,946$, $p < 0,001$
3	$Y = 824,333 + 3,071 \cdot x$ $F(5, 606) = 26,825$, $p < 0,001$	$Y = 762,000 + 16,160 \cdot x$ $F(3, 393) = 82,919$, $p < 0,001$

Примечание. Y – длительность кардиоинтервала, x – номер попытки.

хотя в сеансе 3 отмечены однонаправленные сдвиги в сторону возрастания (рис. 2).

Близкий по физиологическому смыслу статисти-

ческий показатель SDNN (стандартное отклонение всех интервалов за оцениваемый период времени) у участника 1 был близок к 20 мс, у участника 2 – к 30 мс, что так же, как и в случае с TP, ниже нижней границы зоны нормальных величин в 100 мс [13]. Динамика данного показателя в попытках сеансов БОС-коррекции оказалась разнонаправленной.

Соотношение абсолютных мощностей LF и HF диапазонов спектра variability CP (отношение LF/HF), используемое как показатель автономного баланса [13, 15, 18], у обоих испытуемых до восхождения было в пределах нормальных величин (1,5–2) и возрастало за период акклиматизации. Во время сеансов БОС-тренингов динамика данного показателя у участников эксперимента оказалась различной (рис. 3): возрастание в сеансах 1 и 2, и разнонаправленные изменения у испытуемых в сеансе 3. Расчётный индекс централизации ((VLF + LF)/HF) за время экспедиции также был в допустимых пределах (2–16 у. е.), а его динамика была неодинаковой как на протяжении восхождения, так и у разных людей.

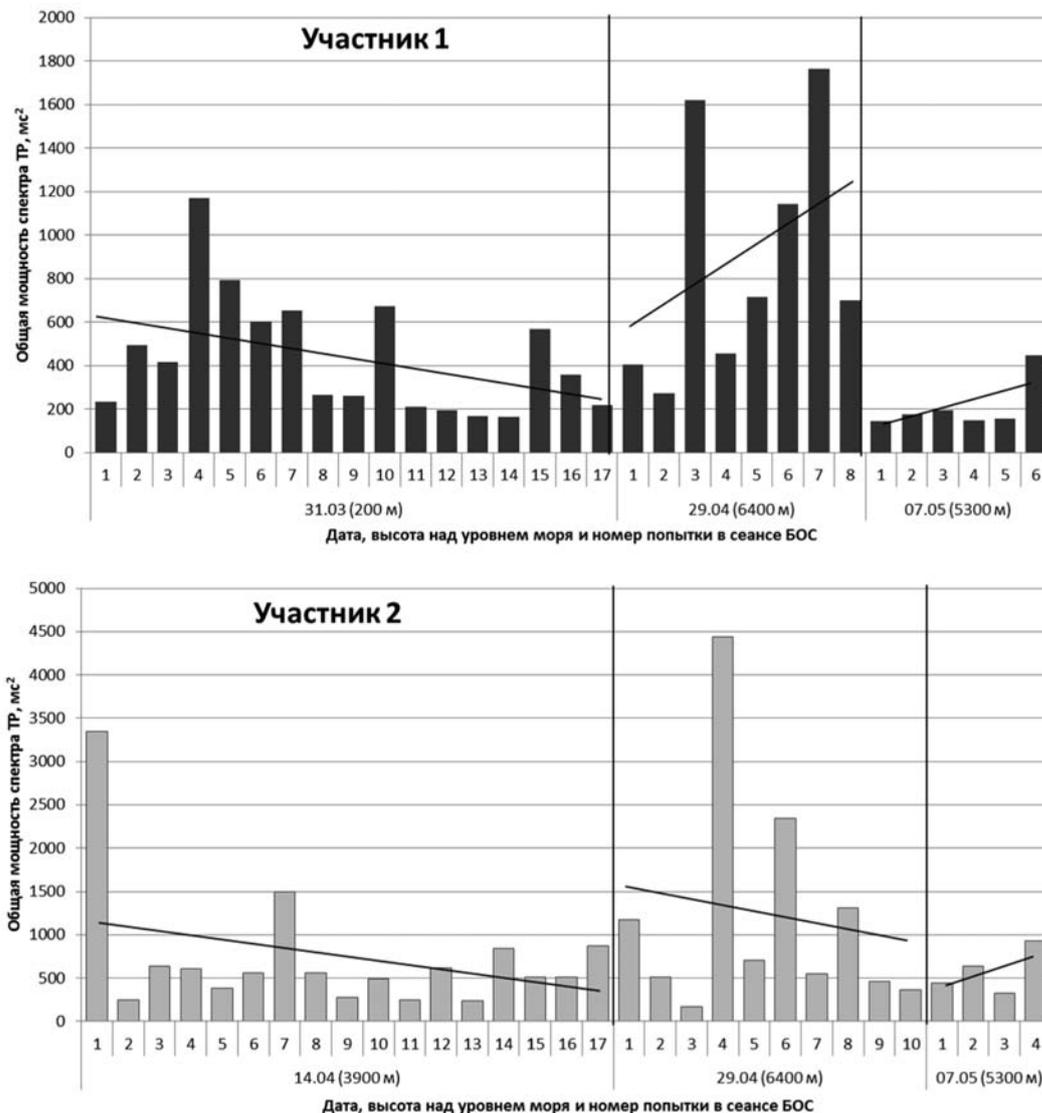


Рис. 2. Общая мощность спектра variability сердечного ритма (TP) в попытках сеансов БОС-коррекции, Линиями показан тренд, отраженный линейной функцией

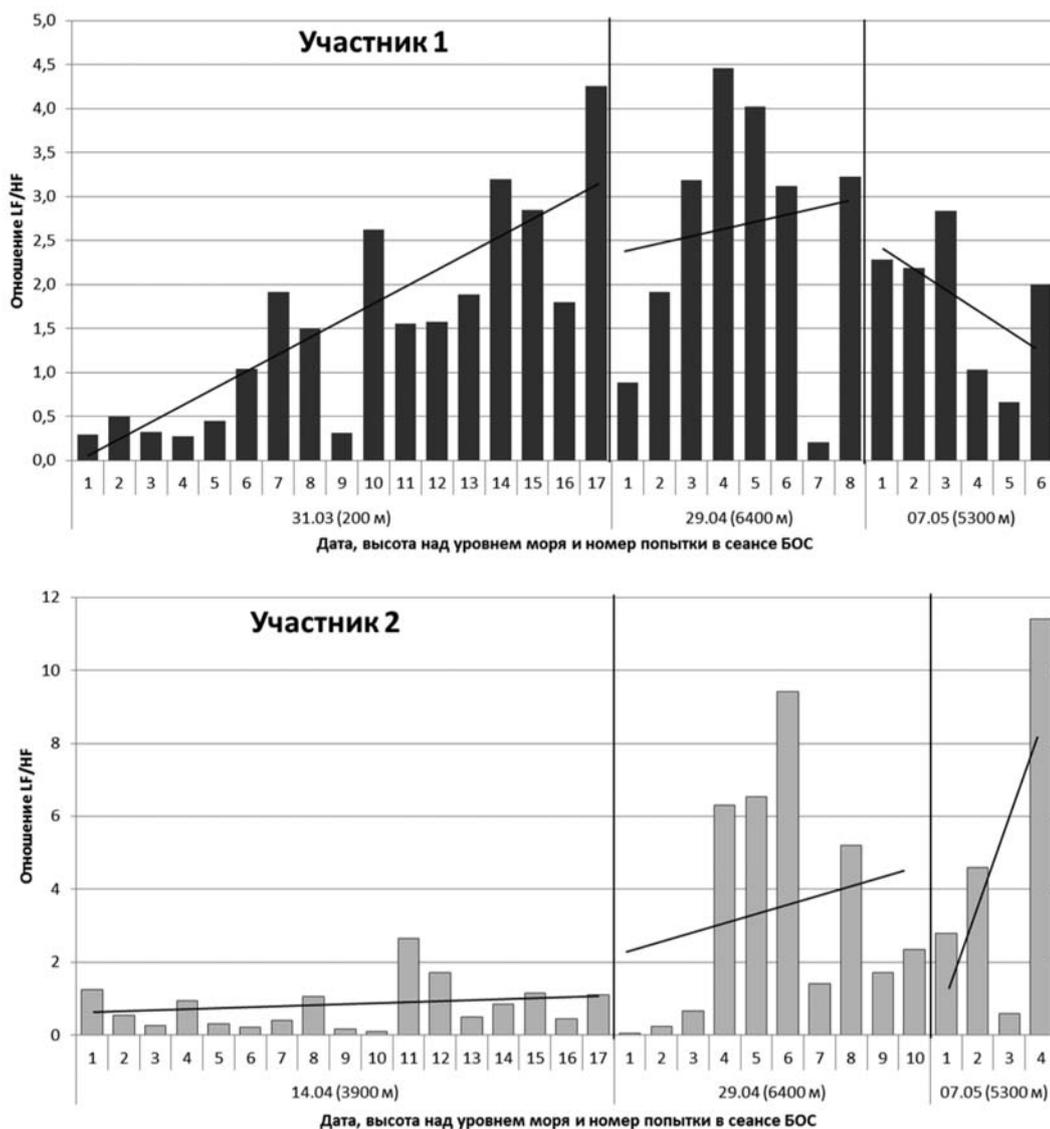


Рис. 3. Отношение LF/HF спектра variability сердечного ритма в попытках сеансов БОС-коррекции. Линиями показан тренд, отраженный линейной функцией

Стресс-индекс, статистический показатель variability сердечного ритма CP , у обоих участников эксперимента имел очень высокие величины, в основном в диапазоне 400–1 200 у. е. при норме до 150 у. е. (рис. 4). Удивительно, но самые низкие значения стресс-индекса у обоих альпинистов зафиксированы на самой высокой точке в 6 400 м (29-го апреля). Во время сеансов БОС-коррекции динамика данного показателя была различной на разных стадиях экспедиции и у разных людей, лишь в сеансе 3 выявлено снижение данного показателя у обоих участников.

Статистический показатель $pNN50$ (доля последовательных кардиоинтервалов, различающихся более чем на 50 мс, от общего количества последовательных пар интервалов) оказался наиболее консервативен: его величина составляла 10–15 % у обоих участников эксперимента во всех сеансах БОС-коррекции (норма – 5–7 %).

Обсуждение результатов

Методология БОС-коррекции предполагает выработку вегетативных условных рефлексов, способствующих достижению контрольных величин различных показателей состояния организма. При этом способ достижения результата не всегда поддается вербальному описанию. В данном контексте хорошим методом изменения функционального состояния собственного организма является использование виртуального мира, в частности – компьютерных игр. Подтверждением задействованности головного мозга в достижении нового уровня вегетативных показателей являются данные о том, что методы БОС-коррекции, направленной на нормализацию CP , способны изменить характер электрической активности головного мозга [3]. Поэтому при интерпретации получаемых результатов нельзя игнорировать наличие процесса обучения / адаптации к процедуре тестирования [6].

В проведенном исследовании оказалось, что оба участника эксперимента успешно справились с задачей

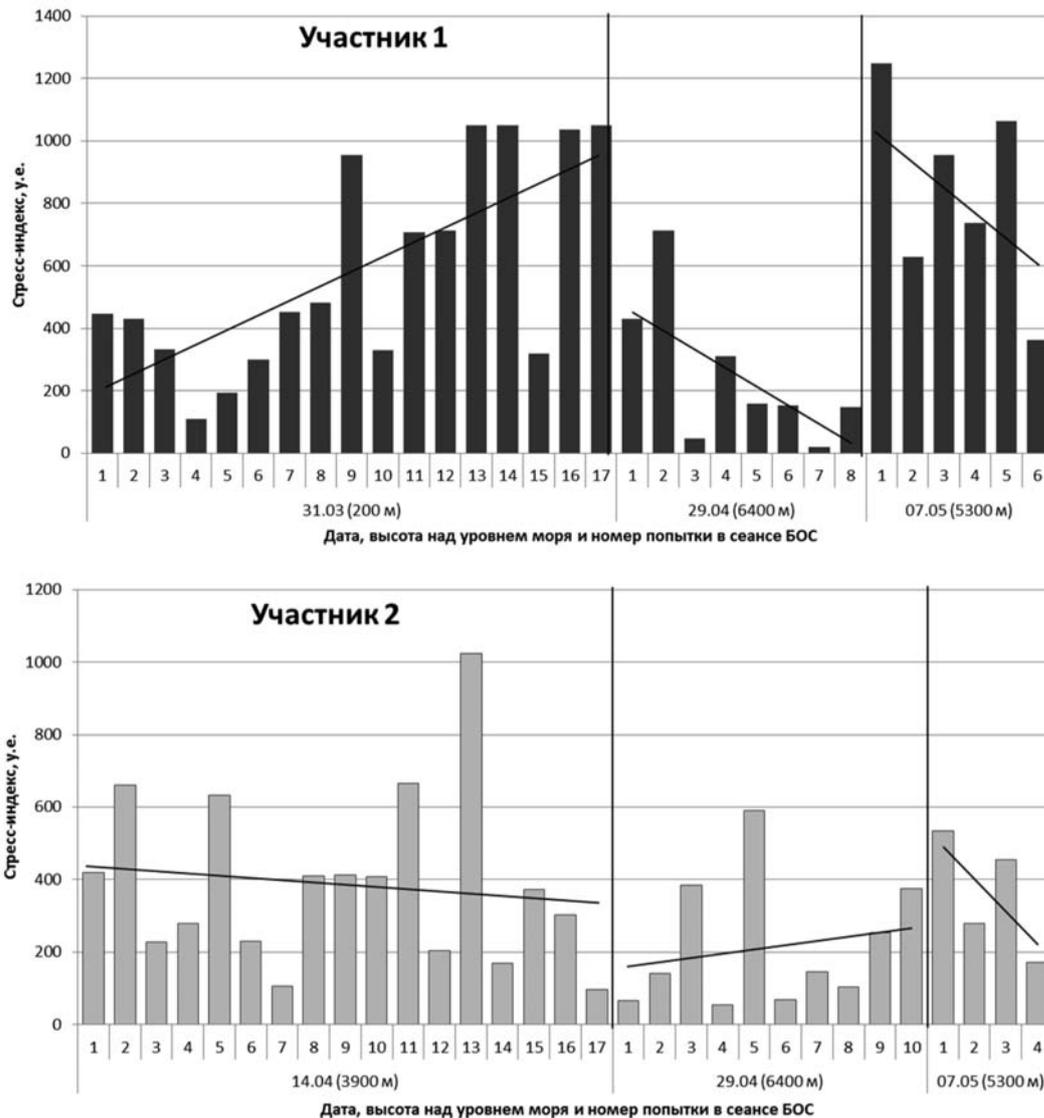


Рис. 4. Стресс-индекс в попытках сессий БОС-коррекции. Линиями показан тренд, отраженный линейной функцией

нормализации ЧСС уже с сеанса 1 (до подъёма на высокогорье). В процессе акклиматизации, в сеансах 2 и 3, также отмечены статистически значимые тренды к снижению ЧСС у обоих участников. Однако изучение динамики показателей variability CP в попытках каждого сеанса БОС-тренинга не позволяет сделать однозначных выводов о направленности изменений в состоянии систем автономной регуляции.

Известно, что срочная адаптация к гипобарической гипоксии, в частности к условиям 4 500 м над уровнем моря, вызывает преходящее (первые 3 дня) снижение показателей variability CP (TR, мощности отдельных диапазонов), величины чувствительности артериального барорефлекса, снижение содержания катехоламинов в плазме крови и снижение реактивности (степени изменения) уровня артериального давления на ментальный стресс [21]. Механизмы срочной адаптации включают активацию каротидных тел, усиливающих афферентную импульсацию к витальным центрам головного мозга, и молекулярные перестройки, в частности, на уровне реакций окис-

лительного фосфорилирования в митохондриях [22]. Предполагается, что чувствительными к содержанию кислорода являются также и молекулярные механизмы ионной проводимости, что определяет развитие функциональных сдвигов в таких условиях среды во всех возбудимых тканях [22].

При переходе адаптивных процессов в долгосрочную стадию изменения в каротидных тельцах прогрессируют, включая изменения энергетического обеспечения клеточного метаболизма, с участием индуцируемого гипоксией фактора HIF1 α . Длительное воздействие гипобарической гипоксии сопровождается морфологическими и биохимическими изменениями — увеличением размеров клеток каротидных тел и повышением уровня катехоламинов [22]. Эти изменения являются обратимыми и нивелируются при возвращении нормального уровня кислорода в воздухе. Однако длительная адаптация к высокогорью может закрепиться на генетическом уровне. Так, у коренных жителей Тибета описана мутация индуцируемого гипоксией фактора HIF2 α , позволяющая его

носителям иметь нормальный уровень гемоглобина в условиях высокогорья [16].

В нашей работе оказалось, что исходные величины показателей общей вариабельности СР были ниже нормы (TP, SDNN), соотношение LH/HF и индекс централизации — в пределах нормы, а стресс-индекс — выше нормы. В последующие дни, как описано нами ранее, наблюдалось возрастание показателей общей мощности TP и мощности диапазона LF при снижении мощности диапазона HF (с соответствующим возрастанием отношения LH/HF), возрастание SDNN и pNN50 при снижении стресс-индекса [5]. Другие исследователи также описали постепенное возрастание величины TP по мере восхождения на Эверест при регистрации параметров СР во время ночного отдыха [7]. Возрастание TP, SDNN, LF и pNN50 также описано при имитации подъёма на незначительные высоты [14] и свидетельствует об активации симпатической активности. Исследования, проведённые с участием жителей Кавказа и шерпов, показали, что в условиях высокогорья гипобарическая гипоксия вызывает сдвиг автономного баланса в сторону доминирования симпатических влияний, который сохраняется на всём протяжении периода акклиматизации [17].

По динамике попыток сеанса 1 БОС-коррекции обоих участников эксперимента можно предположить, что до восхождения цель тренинга в виде снижения ЧСС достигалась за счёт возрастания симпатической активности (возрастание LF/HF) при снижении общего уровня вегетативной активности (TP). По мере обучения (упрочения нового навыка), к сеансу 3, снижение ЧСС происходило при возрастании общего уровня вегетативной активности (TP) и снижении стресс-индекса. Изменения в автономном балансе (LF/HF) в сеансе 3 у испытуемых оказались разнонаправленными.

Отношение LH/HF активно используется в биомедицинских исследованиях как показатель вегетативного баланса [13, 15]. Однако, согласно современным представлениям, мощность диапазона LF отражает барорефлекторную активность (её вклад составляет примерно 25 %), парасимпатические (50 %) и симпатические (25 %) влияния на сердечный ритм [11]. В мощность диапазона HF преимущественный вклад вносят вагусные влияния (до 90 %). В этом контексте отношение LH/HF можно рассматривать как отражение соотношения активности двух звеньев автономной регуляции лишь достаточно условно: прогностической ценностью обладает не величина этого индекса сама по себе, а её динамика или изменчивость в нагрузочных пробах.

Представленные нами результаты позволяют предположить, что достижение конечной цели в сеансах БОС-коррекции (снижение ЧСС) у обоих участников эксперимента сопровождалось сдвигами в уровне активности систем автономной регуляции. При этом направленность сдвигов зависела от стадии формирования навыка и была специфична для каж-

дого испытуемого. Вероятно также, что свой вклад в индивидуальные различия динамики автономной активности могли внести различия в скорости акклиматизации каждого участника — скорости формирования адаптивного ответа организма на комплекс климатогеографических условий высокогорья. Данные аспекты нуждаются в дальнейшем изучении.

Список литературы / References

1. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 174 с.
2. Baevskii R. M., Berseneva A. P. *Vvedenie v donozologicheskuyu diagnostiku* [Introduction to the preclinical diagnosis]. Moscow, 2008, 174 p.
3. Войнов В. Б., Вербицкий Е. В. Исследование сомнологических аспектов острой адаптации человека к высокогорью // Физиология человека. 2014. Т. 40, № 6. С. 46–57. DOI: 10.7868/S013116461405018X
4. Voynov V. V., Verbitsky E. V. The Study of the Somnological Aspects of the Human Acute Adaptation to the High Altitude. *Fiziologiya Cheloveka*. 2014, 40 (6), pp. 46-57. DOI: 10.7868/S013116461405018X [In Russian]
5. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. ЭЭГ-реакции в динамике кардиобиоуправления у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих на северных широтах // Экология человека. 2016. № 10. С. 23–30.
6. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. EEG reactions during heart rate variability biofeedback procedure in adolescents with different autonomic tone living in Northern areas. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2016, 10, pp. 23-30. [In Russian]
7. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // Медицинская техника. 2001. № 3. С. 40–44.
8. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvina L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and specific features of cardiac rhythm regulation during occupational activity. *Meditsinskaya tekhnika* [Biomedical engineering]. 2001, 35 (3), pp. 166-170. [In Russian]
9. Панкова Н. Б., Качалова Л. М., Джафарова О. А., Чмыхова Е. В., Латанов А. В. Показатели вариабельности сердечного ритма во время высокогорного восхождения (экспедиция Ф. Ф. Конюхова на Эверест) // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: материалы VI Международной научно-практической конференции. Челябинск, 8–9 ноября 2016 г. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуманитар.-педаг. ун-та, 2016. С. 290–294. URL: <http://elibrary.cspu.ru/xmlui/handle/123456789/1086> (дата обращения: 08.02.2017)
10. Pankova N. B., Kachalova L. M., Jafarova O. A., Chmykhova E. V., Latanov A. V. Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma vo vremya vysokogornogo voskhozhdeniya (ekspeditsiya F. F. Konyukhova na Everest) [Indicators of heart rate variability during mountain climbing (F. F. Konyukhov Everest Expedition)]. In: *Adaptatsiya biologicheskikh sistem k estestvennym i ekstremal'nym faktoram sredy. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chelyabinsk, 8-9 noyabrya 2016* [Adaptation of biological systems to natural and extreme environmental factors. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Chelyabinsk, 8-9 November 2016]. Chelyabinsk,

2016, pp. 290-294. Available at: <http://elib.cspu.ru/xmlui/handle/123456789/1086> (accessed: 08.02.2017)

6. Панкова Н. В., Котенёв А. В., Латанов А. В. Вегетативные корреляты адаптации к условиям БОС-тренингов // Нейронаука для медицины и психологии. 11-й Международный междисциплинарный конгресс. Судак, Крым, Россия, 2–12 июня 2015 г. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 303–304.

Pankova N. V., Kotenyov A. V., Latanov A. V. Vegetativnyye korrelyaty adaptatsii k usloviyam BOS-treningov [Autonomic correlates of adaptation to biofeedback training]. In: *Neyronauka dlya meditsiny i psikhologii. 11-y mezhdunarodny mezhdistsiplinary kongress. Sudak, 2-12 iyunya 2015* [Neuroscience for medicine and psychology. XI International interdisciplinary congress. Sudak, June 2-12, 2015]. Moscow, 2015, pp. 303-304.

7. Пивцов В. Т., Пак Г. Д., Олейникова Е. В. Изменения общего спектра мощности variability ритма сердца в динамике восхождения на пик Эверест // Вестник КазНУ, серия биологическая. 2011. № 3 (48). С. 104–106.

Pivtsov V. K., Pak G. D., Oleynikova E. V. Changes in the general range of variability of heart rate power in the dynamics of climbing Mount Everest peak. *Vestnik KazNU, seriya biologicheskaya* [Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University, biological series]. 2011, 3 (48), pp. 104-106. [In Russian]

8. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Возможности тепловидения и variability сердечного ритма при прогностической оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2012. № 11. С. 33–37.

Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Opportunities of Thermography and Heart Rate Variability in Predictive Valuation of Cardiovascular System Functional State. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 11, pp. 33-37. [In Russian]

9. Сайт Фёдора Конюхова. URL: http://konyukhov.ru/news.html?lastnews_all_page=31 (дата обращения: 08.02.2017)

Fedor Konyukhov personal site. Available at: http://konyukhov.ru/news.html?lastnews_all_page=31 (accessed: 08.02.2017)

10. Электронный учебник по статистике. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения: 06.02.2017)

The StatSoft electronic textbook on statistics. Available at: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (accessed: 06.02.2017)

11. Billman G. E. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac symptho-vagal balance. *Front Physiol.* 2013, 4 (26). <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>

12. Boos C.J., Bakker-Dyos J., Watchorn J., Woods D.R., O'Hara J.P., Macconnachie L., Mellor A. A comparison of two methods of heart rate variability assessment at high altitude. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2016. doi: 10.1111/cpf.12334. [Epub ahead of print] <http://dx.doi.org/10.1111/cpf.12334>

13. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart Journal.* 1996, 17, pp. 354-381.

14. Long M., Qin J., Huang L., Tian K., Yu S., Yu Y. [Comparison of heart rate variability in healthy young men during exposure to different altitudes]. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi.* 2006, 23 (6), pp. 1195-1197. [Article in Chinese]

15. Montano N., Porta A., Cogliati C., Costantino G., Tobaldini E., Casali K.R., Iellamo F. Heart rate variability explored in the frequency domain: a tool to investigate the link between heart and behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009, 33 (2), pp. 71-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.07.006>

16. Painschab M. S., Malpartida G. E., Dávila-Roman V. G., Gilman R. H., Kolb T. M., León-Velarde F., Miranda J. J., Checkley W. Association between serum concentrations of hypoxia inducible factor responsive proteins and excessive erythrocytosis in high altitude Peru. *High Alt. Med. Biol.* 2015, 16 (1), pp. 26-33. <http://dx.doi.org/10.1089/ham.2014.1086>

17. Perini R., Milesi S., Biancardi L., Veicsteinas A. Effects of high altitude acclimatization on heart rate variability in resting humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1996, 73 (6), pp. 521-528.

18. Perini R., Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2003, 90 (3-4), pp. 317-325. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-003-0953-9>

19. Royston J. P. Algorithm AS 181: The W Test for Normality. *Applied Statistics.*, 1982, 31 (2), pp. 176-180.

20. Saito S., Tanobe K., Yamada M., Nishihara F. Relationship between arterial oxygen saturation and heart rate variability at high altitudes. *Am. J. Emerg. Med.* 2005, 23 (1), pp. 8-12.

21. Sevre K., Bendz B., Hankø E., Nakstad A.R., Hauge A., Kåsin J.I., Lefrandt J.D., Smit A.J., Eide I., Rostrup M. Reduced autonomic activity during stepwise exposure to high altitude. *Acta Physiol. Scand.* 2001, 173 (4), pp. 409-417.

22. Wilson D.F., Roy A., Lahiri S. Immediate and long-term responses of the carotid body to high altitude. *High Alt. Med. Biol.* 2005, 6 (2), pp. 97-111. <http://dx.doi.org/10.1089/ham.2005.6.97>

Контактная информация:

Панкова Наталья Борисовна — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»

Адрес: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8

E-mail: nbpankova@gmail.com