

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В КОНТУРЕ МЕТРОНОМИЗИРОВАННОГО ДЫХАНИЯ ПРИ СТАРТЕ СО СВОБОДНОГО ДЫХАНИЯ У ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ

С. А. С. Белал, доц. А. Л. Кулик, проф. А. В. Мартыненко, проф. Н. И. Яблчанский
Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,
медицинский факультет

На 14 здоровых добровольцах в возрасте от 18 до 27 лет исследованы реакции параметров вариабельности сердечного ритма в биологической обратной связи с контуром метрономизированного дыхания при старте со свободного дыхания. Установлено, что биологическая обратная связь определяет оптимальность влияния метрономизированного дыхания на показатели вариабельности сердечного ритма, а тем самым и на состояние баланса регуляции, и может быть оценена согласно предложенным критериям качества. У здоровых добровольцев параметры вариабельности сердечного ритма характеризуются высокой адаптивностью к алгоритму дыхания и находятся либо в зоне физиологических нормативов, либо близко к ней.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, биологическая обратная связь, свободное дыхание, регуляторные системы.

БИОЛОГІЧНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК У КОНТУРІ МЕТРОНОМІЗОВАНОГО ДИХАННЯ ПІД ЧАС СТАРТУ З ВІЛЬНОГО ДИХАННЯ У ЗДОРОВИХ ДОБРОВОЛЬЦІВ

С. А. С. Бєлал, доц. О. Л. Кулик, проф. О. В. Мартиненко, проф. М. І. Яблчанський

На 14 здорових добровольцях у віці від 18 до 27 років досліджено реакції параметрів варіабельності серцевого ритму у біологічному зворотньому зв'язку із контуром метрономізованого дихання під час старту з вільного дихання. Установлено, що біологічний зворотний зв'язок визначає оптимальність впливу метрономізованого дихання на показники варіабельності серцевого ритму, а тим самим і на стан балансу регуляції, і може бути оцінений згідно із запропонованими критеріями якості. У здорових добровольців параметри варіабельності серцевого ритму характеризуються високою адаптивністю до алгоритму дихання і перебувають або в зоні фізіологічних нормативів, або близько до неї.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, біологічний зворотний зв'язок, вільне дихання, регуляторні системи.

BIOFEEDBACK IN THE LOOP OF PACED BREATHING STARTING FROM THE FREE BREATHING IN HEALTHY VOLUNTEERS

S. A. S. Belal, A. L. Kulik, A. V. Martynenko,
N. I. Yabluchanskiy

In 14 healthy volunteers aged from 18 to 27 years the reactions of heart rate variability parameters in biofeedback with loop of paced breathing starting from the free breathing were studied. It is established that biofeedback determines the optimal effect of paced breathing on heart rate variability parameters, and thus, on a state of balance regulation and can be evaluated according to the proposed quality criteria. In healthy volunteers, heart rate variability parameters are characterized by high adaptability to the algorithm of paced breathing and are found either in zone, or close to the zone of physiological norms.

Key words: heart rate variability, biofeedback, free breathing, regulatory systems.

Разработка способов управления состоянием здоровья ведется достаточно давно и предложен ряд возможных методов его улучшения

с контролем показателей состояния системы регуляции в биологической обратной связи (БОС, biofeedback) [5, 7].

В петле обратной связи хорошо зарекомендовал себя учет реакции параметров вариабельности сердечного ритма (ВСР), определяемый влиянием вегетативного баланса и гуморальных систем [2].

Наиболее оптимальное воздействие на параметры ВСР, а через них и на состояние регуляции, в контуре БОС оказывает метронормализованное дыхание (МД) [3, 6], которое оптимизирует показатели и восстанавливает симпатовагальный и нейрогуморальный балансы регуляции.

Цель работы — исследовать реакции параметров ВСР в БОС с контуром МД при старте со свободного дыхания у здоровых добровольцев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 14 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 27 лет (4 мужчин и 10 женщин). Для оценки реакции параметров ВСР на предложенный протокол МД всем испытуемым с помощью компьютерного диагностического комплекса CardioLab-2009 («ХАИ-Медика», г. Харьков, Украина) были проведены мониторинговые записи длин R-R-интервалов ЭКГ в первом стандартном отведении длительностью 7 мин; частота дискретизации сигнала составила 1 КГц [4], продолжительность скользящего буфера — 1 мин.

С помощью быстрого преобразования Фурье полученные записи были разделены

Таблица 1

Средние значения O, S, E показателей D, L/H и V/(L+H), (M±sd)

№, пол, возраст (лет) испытуемого	Показатели								
	O ^D	S ^D	E ^D	O ^{L/H}	S ^{L/H}	E ^{L/H}	O ^{V/(L+H)}	S ^{V/(L+H)}	E ^{V/(L+H)}
1, ж., 20	-9,91± 10,30	1,17± 0,35	0,08± 0,18	-49,54± 50,42	7,22± 1,55	0,99± 0,01	-1,20± 1,50	0,77± 0,84	0,39± 0,49
2, м., 27	-1,31± 2,07	0,71± 0,27	0,02± 0,04	-2,04± 2,93	5,03± 1,84	0,74± 0,42	-1,96± 0,96	0,29± 0,16	0,10± 0,10
3, м., 21	-1,27± 3,53	0,79± 0,31	0,09± 0,12	-3,56± 8,45	6,68± 0,89	0,99± 0,02	-1,97± 0,66	0,90± 1,47	0,26± 0,31
4, ж., 20	-0,67± 2,56	0,79± 0,29	0,03± 0,06	-1,28± 4,00	4,89± 2,69	0,82± 0,29	-1,84± 0,96	0,37± 0,21	0,12± 0,14
5, ж., 20	-3,26± 2,21	1,03± 0,37	0,01± 0,02	-4,47± 4,13	5,80± 0,57	0,99± 0,01	-2,42± 0,27	0,28± 0,09	0,06± 0,07
6, м., 22	-8,83± 6,29	1,27± 0,48	0,01± 0,01	-25,29± 24,79	5,96± 2,35	0,85± 0,36	-2,71± 0,52	0,22± 0,17	0,06± 0,10
7, ж., 20	-7,24± 4,56	1,04± 0,32	0,00± 0,00	-25,95± 24,63	5,75± 2,02	0,88± 0,30	-2,62± 0,52	0,23± 0,16	0,03± 0,04
8, ж., 20	-1,94± 2,68	0,69± 0,36	0,15± 0,13	-5,07± 8,80	6,43± 1,00	0,97± 0,07	-2,15± 0,82	0,43± 0,32	0,16± 0,19
9, ж., 20	-1,12± 1,36	0,69± 0,28	0,38± 0,23	-2,35± 2,49	6,38± 1,38	1,00± 0,00	-1,69± 0,50	0,67± 0,38	0,27± 0,31
10, ж., 20	-1,76± 2,74	0,65± 0,44	0,05± 0,09	-4,03± 5,81	6,54± 0,76	0,99± 0,01	-2,80± 0,54	0,22± 0,11	0,05± 0,06
11, м., 20	-8,99± 4,63	0,97± 0,33	0,52± 0,23	-39,19± 27,91	2,56± 1,00	0,84± 0,20	-0,83± 1,11	0,66± 0,50	0,29± 0,28
12, ж., 23	-4,24± 7,15	0,87± 0,50	0,13± 0,17	-11,54± 18,48	6,17± 1,48	0,98± 0,03	-2,35± 0,65	0,29± 0,29	0,10± 0,13
13, ж., 18	0,18± 1,52	0,65± 0,22	0,14± 0,20	-0,43± 2,46	5,63± 1,95	0,90± 0,18	-1,39± 0,92	1,35± 2,64	0,33± 0,30
14, ж., 20	-1,48± 2,07	0,75± 0,30	0,04± 0,08	-3,32± 3,55	5,21± 1,62	0,84± 0,37	-2,42± 0,62	0,43± 0,55	0,08± 0,06
Средние для всех испытуемых	-3,82± 5,50	0,87± 0,38	0,11± 0,19	-13,10± 23,91	5,78± 1,86	0,91± 0,23	-2,01± 0,93	0,52± 0,89	0,17± 0,24

на одноминутные интервалы, в каждом из которых выделялись медленные (V) частоты — до 0,05 Гц, средние (L) частоты — 0,05–0,15 Гц и быстрые (H) частоты — от 0,15 Гц [8]. Программный модуль Biofeedback позволил преобразовать полученные данные о состоянии ВСП в двухмерную координатную плоскость с осями L/H и V/(L + H), отвечающими симпатовагальному и нейрогуморальному балансам системы регуляции. Начало отсчета соответствовало значению физиологической нормы для каждого испытуемого согласно возрасту и полу.

Для оптимизации состояния баланса регуляции был предложен алгоритм МД, который начинался со свободного немодулированного дыхания, а затем частота дыхательных движений адаптивно изменялась в зависимости от реакции параметров ВСП.

Качество БОС оценивали на основании значений параметров оптимальности (O), чувствительности (S), эффективности (E) и интегрального показателя BQI [1].

Расчет значений параметров O, S, E для показателей D, L/H и V/(L+H) осуществлялся в программе MathCAD 15, статистическая обработка полученных результатов — в Microsoft Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированы средние значения O, S и E показателей D, L/H и V/(L + H) по каждому испытуемому (табл. 1).

Значения O^D варьировали от $-9,91$ до $0,18$ (среднее $-3,82 \pm 5,50$) и находились в зоне физиологических нормативов. Их изменения

достигались преимущественно за счет значений $O^{L/H}$, варьировавших от $-49,54$ до $-0,43$ (среднее $-13,10 \pm 23,91$). Значения $O^{V/(L+H)}$ изменялись значительно меньше — от $-2,80$ до $-0,83$ (среднее $-2,01 \pm 0,93$) и, соответственно, меньше влияли на изменения O^D .

Значения S^D варьировали от 0,65 до 1,27 (среднее $0,87 \pm 0,38$). Их изменения также достигались преимущественно за счет значений $S^{L/H}$, варьировавших от 2,56 до 7,22 (среднее $5,78 \pm 1,86$). Значения $S^{V/(L+H)}$ изменялись незначительно — от 0,22 до 1,35 (среднее $0,52 \pm 0,89$).

Значения E^D варьировали от 0 до 0,52 (среднее $0,11 \pm 0,19$). Их изменения достигались преимущественно за счет $E^{L/H}$, варьировавших от 0,74 до 1,00 (среднее $0,91 \pm 0,23$). Размах варьирования значений $E^{V/(L+H)}$ был, как и в случаях O^D и S^D , значительно меньше — от 0,03 до 0,39 (среднее $0,17 \pm 0,24$).

Установлены изменения BQI по всем испытуемым за 7 сеансов БОС (рис. 1). С увеличением номера сеанса снижается значение BQI, что демонстрирует эффект тренировки системы регуляции при многократном повторении сеансов БОС и ее положительного влияния на регуляторные системы организма.

При существовании различных контуров БОС в изучении и контроле регуляторных систем человека, в том числе основанных на управлении частотой МД по реакциям на него параметров ВСП [3, 7], мы не нашли публикаций, в которых бы производилась количественная, а не качественная ее оценка.

Нами установлена высокая эффективность БОС при управлении частотой МД на основе

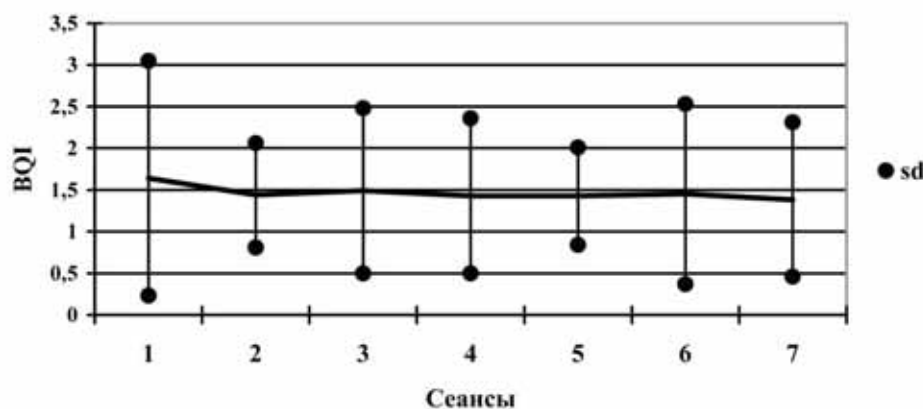


Рис. 1. Изменения BQI по всем испытуемым на семи сеансах БОС

реакций на него параметров ВСП в приведении их в зону физиологических нормативов.

ВЫВОДЫ

1. БОС определяет оптимальность влияния метрономизированного влияния на параметры ВСП, а через них и на состояние баланса регуляции организма.

2. Для оценки качества БОС у здоровых добровольцев при старте алгоритма со свободного немодулированного дыхания под контролем параметров ВСП могут быть использованы показатели оптимальности (О), чувствительности (S) и эффективности (E) для характеристики системы в целом, так и в проекциях на координатные оси L/H и V/(L+H) и интегральный показатель VQI.

3. МД оказывает положительное влияние на параметры ВСП, приближая их к зоне

физиологического оптимума и восстанавливая баланс между ветвями системы регуляции.

4. У здоровых добровольцев параметры ВСП характеризуются высокой адаптационной способностью к изменяющейся частоте МД и находятся либо в оптимальном, либо в субоптимальном состоянии относительно зоны физиологических нормативов.

5. Наблюдающаяся положительная динамика интегрального показателя VQI в контуре биологической обратной связи МД и параметров ВСП указывает на наличие эффекта тренировки системы регуляции, что может быть использовано в оздоровительных и лечебных практиках.

В *перспективе* представляет интерес изучить влияние предложенной методики биофидбека у пациентов при различных заболеваниях органов и систем, а также в спортивной практике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качество биологической обратной связи у здоровых добровольцев в алгоритме метрономизированного дыхания при старте с возрастной физиологической нормы / С. А. С. Белал, К. И. Линская, А. Л. Кулик [и др.] // Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. — 2011. — № 938. — С. 29–37.
2. Попов В. В. Вариабельность сердечного ритма: возможности применения в физиологии и клинической медицине / В. В. Попов, Л. Н. Фрицше // Укр. мед. часопис. — 2006. — № 2 (52). — С. 24–31.
3. Effect of different breathing patterns on nonlinearity of heart rate variability / Y. Fang, J. T. Sun, C. Li [et al.] // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. — 2008. — P. 3220–3223.
4. 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 J. — 1996. — № 17 (3). — P. 354–381.
5. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow / P. M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo [et al.] // Psychosomatic Medicine. — 2003. — Vol. 65 — № 5. — P. 796–805.
6. Kobayashi H. Does paced breathing improve the reproducibility of heart rate variability measurements? / H. Kobayashi // J. Physiol. Anthropol. — 2009. — № 28 (5). — P. 225–230.
7. McKee M. G. Biofeedback: an overview in the context of heart-brain medicine / M. G. McKee // Cleve Clin. J. Med. — 2008. — № 75 (suppl 2). — P. 31–34.
8. Yabluchansky N. The heart rate variability (HRV) Point: Counterpoint discussion raises a whole range of questions, and our attention has also been attracted by the topic / N. Yabluchansky, A. Kulik, A. Martynenko // J. Appl. Physiol. — 2007. — № 102. — P. 1715.