

УДК 61

DOI 10.21661/r-470122

Е.Г. Сергеева, Т.В. Ибрагимова, М.Д. Дибур**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И КОРРЕКЦИЯ
ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА У СПОРТСМЕНОВ,
ТРЕНИРУЮЩИХСЯ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ**

Аннотация: биологическая обратная связь – это технология диагностики физиологических процессов в режиме реального времени, в ходе которой пациент получает информацию о состоянии собственных физиологических параметров и проводит их саморегуляцию в режиме обратной связи, организованной с помощью микропроцессорной техники. В спортивной кардиологии наиболее востребована биологическая обратная связь, направленная на кардиореспираторную синхронизацию вариабельности сердечного ритма. Целью исследования явилось создание оригинального метода коррекции вариабельности сердечного ритма с использованием биологической обратной связи у спортсменов, тренирующихся на выносливость. В исследование было включено 61 человек (мужчины в возрасте 20-34 лет без заболеваний сердечно-сосудистой системы). Основную группу ($n=36$) составили спортсмены, тренирующие преимущественно выносливость. Исходно в течение 30 минут после тренировки всем спортсменам проводилось исследование вариабельности сердечного ритма (BCP) по стандартной методике. Далее методом случайных чисел спортсмены были разбиты на три равные группы (по 12 человек). Группа 1 (основная) получала сеансы кардиотренинга. Кардиореспираторный тренинг проводился ежедневно. Курс состоял из 5 сеансов, каждый из которых включал 8-12 проб длительностью 120 с каждой. Статистическая обработка полученных данных с использованием однофакторного дисперсионного анализа не выявила у спортсменов исследуемых групп достоверных различий показателей. Установлено, что общая вариабельность ритма сердца после сеансов кардиореспираторного

тренинга увеличилась в среднем на 33,5 мс (или 69,5 % от исходного, $p=0,002$). При анализе показателей ВСР у спортсменов после просмотра мотивационных видеороликов и у спортсменов группы сравнения статистически значимых различий выявлено не было. Таким образом, именно оригинальный метод биологической обратной связи оказал значимое корригирующее влияние на показатели вариабельности сердечного ритма у спортсменов, тренирующихся на выносливость.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, вариабельность сердечного ритма, кардиореспираторная синхронизация, спортивная кардиология.

E.G. Sergeeva, T.V. Ibragimova, M.D. Didur

BIOFEEDBACK AND CORRECTION OF CARDIAC RHYTHM VARIABILITY IN ATHLETES TRAINING FOR ENDURANCE

Abstract: biofeedback is a technology of diagnosing physiological processes in real time, during which the patient receives information about the state of his own physiological parameters and conducts its self-regulation in the feedback mode organized with the help of microprocessor technology. In sports cardiology, biofeedback mostly stays in demand, aimed at cardiorespiratory synchronization of heart rate variability. The aim of the study – to create an original correcting method of heart rate variability with the use of biofeedback in athletes training for endurance. The study included 61 people (men aged 20-34 years without diseases of the cardiovascular system). The main group ($n = 36$) was made up of athletes who predominantly train for endurance. Initially for 30 minutes after training all athletes conducted a study of heart rate variability (HRV) according to a standard procedure. Next, by the method of random numbers athletes were divided into three equal groups (12 people each). Group 1 (main) received cardiothoracic sessions. Cardiorespiratory training was conducted daily. The course consisted of 5 sessions, each of which included 8-12 samples of 120 s each. Statistical processing of the obtained data using a single-factor dispersion analysis did not reveal significant differences in the

parameters of the athletes of the study groups. It was found that the total heart rate variability after cardiorespiratory training sessions increased by an average of 33.5 ms (or 69.5% of the baseline, p = 0.002). When analyzing the HRV indices in athletes after watching motivational videos and in the athletes of the comparison group, statistically significant differences were not revealed. Thus, it was the original method of biological feedback that had a significant corrective effect on the indices of heart rate variability in athletes training for endurance.

Keywords: biofeedback, heart rate variability, cardiorespiratory synchronization, sports cardiology.

Биологическая обратная связь – это технология диагностики физиологических процессов в режиме реального времени, в ходе которой пациент получает информацию о состоянии собственных физиологических параметров и проводит их саморегуляцию в режиме обратной связи, организованной с помощью микропроцессорной техники.

Метод биологической обратной связи в области спортивной медицины начал использоваться с конца 1960 годов прошлого века. Биологическая обратная связь – это техника тренировочного процесса, направленная на контроль саморегуляции. Во время тренинга испытуемый получает в графической форме информацию о состоянии собственных физиологических процессов и осознанно пытается проводить коррекцию своего физиологического состояния в режиме обратной связи.

Как правило, регистрируются следующие физиологические функции

1. Мышечный тонус в режиме электромиографии.
2. Электрическая активность мозга с помощью электроэнцефалографии.
3. Кожно-гальваническое сопротивление и термометрия.
4. Вариабельность сердечного ритма.
5. Частота дыхательных движений

Метод биологической обратной связи интегрирован в программы национальной подготовки спортсменов разных стран (США, Канада) в различных

спортивных дисциплинах [1]. В целом ряде практических исследований и обзоров с применением мета-анализа подчёркивается высокая эффективность биологической обратной связи в тренировочном процессе [2–4]. Поэтому актуально внедрение биологической обратной связи на регулярной основе в практику тренировочного процесса. Для этого разработана программа пяти ступеней [2]. Она в настоящее время используется как эффективный метод в различных спортивных дисциплинах. Эта программа основывается на базовом принципе периодичности спортивного тренировочного процесса. Использование биологической обратной связи рекомендуется как на стадии подготовки, так и на стадии соревновательного и восстановительного периодов. Именно периодичность применения метода формирует устойчивую саморегуляцию физиологических функций.

В спортивной кардиологии наиболее востребована биологическая обратная связь, направленная на кардиореспираторную синхронизацию вариабельности сердечного ритма [2]. У здоровых людей интервал времени от начала цикла одного сердечного сокращения до начала другого постоянно меняется под воздействием симпатических и парасимпатических влияний на синусовый узел. Это явление называется вариабельность сердечного ритма (BCP).

Наиболее наглядным и доступным методом анализа изменений сердечного ритма являются построение и оценка кардиоинтервалограмм, или ритмограмм. По данным BCP можно оценивать способность организма переносить текущие физические нагрузки и резервы адаптации к условиям спортивной деятельности. Установлено, что снижение вариабельности сердечного ритма является устойчивым и независимым предиктором внезапной смерти [5].

Анализ BCP является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [7]. Актуально совершенствование методов биологической обратной

связи, направленных на коррекцию вариабельности сердечного ритма у спортсменов, тренирующихся на выносливость.

Целью настоящего исследования явилось создание оригинального метода коррекции вариабельности сердечного ритма с использованием биологической обратной связи у спортсменов, тренирующихся на выносливость.

В исследование было включено 61 человек (мужчины в возрасте 20–34 лет без заболеваний сердечно-сосудистой системы). Основную группу ($n=36$) составили спортсмены, тренирующие преимущественно выносливость, имеющие квалификацию кандидата в мастера спорта (19 человек – 52,8%), мастера спорта (16 человек – 44,4%), мастера спорта международного класса (1 человек – 8%). Обследованные спортсмены были признаны здоровыми по результатам углубленного медицинского осмотра. Исследование проводилось в подготовительный период тренировочного цикла. Группу сравнения ($n=25$) составили практически здоровые мужчины сопоставимого возраста с умеренным уровнем физической активности.

Исходно в течение 30 минут после тренировки всем спортсменам проводилось исследование ВСР на аппарате «Полиспектр», г. Иваново. При анализе ВСР использовали короткие (5-минутные) записи в соответствии с Международным стандартом (1996) [Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing].

Оценивались следующие показатели вариабельности сердечного ритма:

1. RRср – средняя продолжительность RR интервалов.
2. Amo, % – амплитуда моды (число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в процентах к объему выборки). Показывает степень активации симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС).
3. SDNN, мс – среднее квадратичное отклонение всех RR интервалов, характеризует общую вариабельность ритма сердца.
4. pNN50 – процент соседних пар RR интервалов, отличающихся более, чем на 50 мс. Показатель степени преобладания парасимпатического звена над симпатическим.

5. RMSSD – квадратный корень из средней суммы квадратов разностей между соседними RR-интервалами, характеризует активность парасимпатической ВНС.

6. CV – коэффициент вариации ряда последовательных кардиоинтервалов. Показатель суммарного эффекта регуляции.

7. ИН – индекс напряжения регуляторных систем характеризует активность симпатического отдела ВНС.

Далее методом случайных чисел спортсмены были разбиты на три равные группы (по 12 человек). Группа 1 (основная) получала сеансы кардиотренинга. Кардиореспираторный тренинг проводился ежедневно. Курс состоял из 5 сеансов, каждый из которых включал 8–12 проб длительностью 120 с каждая. Таким образом, один сеанс длился около получаса. Первая (исходная) и последняя (контрольная) пробы являлись неактивными, то есть испытуемый пребывал в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами. В промежуточных пробах спортсмен имел возможность за счет дыхания влиять на флюктуации своей кардиоритмограммы (КРГ), визуально отслеживая представленную периодическую кривую (зрительная обратная связь) и старался совместить КРГ с заданной периодической кривой – целевой функцией (Рисунок 1).

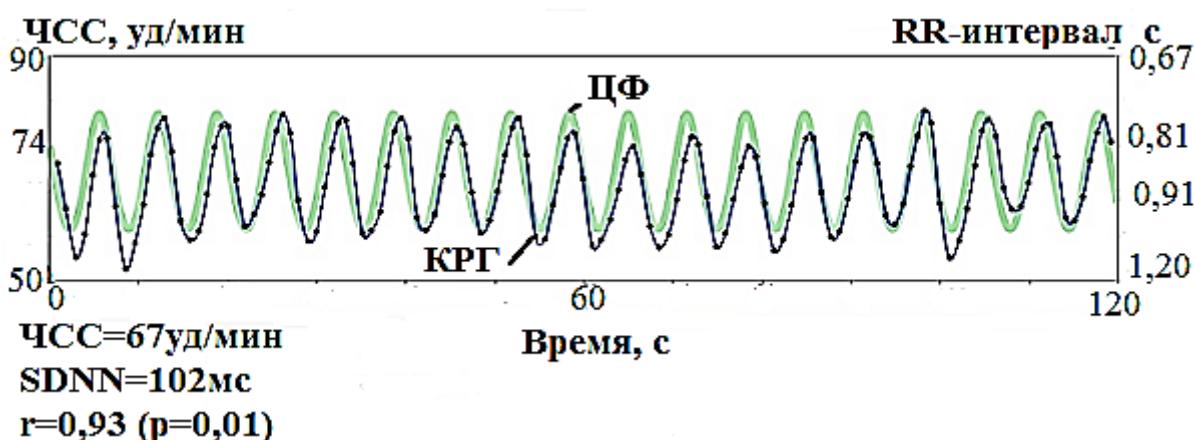


Рис. 1. Экран компьютера. Кардиореспираторная синхронизация (респираторная синусовая аритмия) у спортсмена в 25 лет.

Примечание:

по ординате слева – ЧСС (ударов в минуту), справа – длительность R-R интервалов (секунды), в рамке слева – коэффициент кросскорреляции между КРГ и ЦФ, среднеквадратическое отклонение. КРГ – кардиоритмограмма спортсмена на 48 пробе КРТ; ЦФ – заданная периодическая кривая – целевая функция.

Целевая функция на каждую пробу биоуправления формируется адаптивным программным модулем. Ее параметры для каждой следующей пробы задаются автоматически по результатам анализа предыдущей кардиоритмограммы. Экспертная часть адаптивного программного модуля не позволяет вывести параметры целевой функции за пределы индивидуальных физиологических возможностей тренирующихся, обеспечивая безопасность процедуры.

Показатели вариабельности сердечного ритма спортсменов по группам отображены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели вариабельности сердечного ритма спортсменов по группам,
исходные данные

| Показатели ВСР | Группа 1 основная (n=12) M±SD | Группа 2 плацебо (n=12) M±SD | Группа 3 контроль (n=12) M±SD | P |
|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-------|
| RRср, мс | 829,7±112,4 | 864,2±136,6 | 764,9±170,7 | 0,062 |
| Amo, % | 43,2±10,4 | 33,0±9,6 | 33,7±14,4 | 0,071 |
| SDNN, мс | 48,2±20,9 | 65,8±18,7 | 75,8±33,0 | 0,049 |
| RMSSD, мс | 40,3±30,5 | 53,4±23,6 | 48,8±18,1 | 0,816 |
| pNN50, % | 15,0±15,3 | 22,4±18,0 | 27,2±15,8 | 0,756 |
| CV, % | 5,8±1,9 | 8,1±1,7 | 10,1±4,9 | 0,191 |
| ИН, у.е | 143,2±98,8 | 73,3±55,4 | 93,6±107,3 | 0,154 |

Статистическая обработка полученных данных с использованием однофакторного дисперсионного анализа не выявила у спортсменов исследуемых групп достоверных различий показателей вариабельности сердечного ритма.

Данные, полученные после проведения кардиотренинга, представлены в таблице 2.

При анализе показателей вариабельности сердечного ритма по 5-минутным записям ЭКГ было выявлено, что общая вариабельность ритма сердца после сеансов кардиореспираторного тренинга увеличилась в среднем на 33,5 мс (или 69,5% от исходного, $p=0,002$). Достоверно снижались амплитуда моды (Amo) и индекс напряжения регуляторных систем (ИН) ($p=0,006$ и $p=0,015$ соответственно). RMSSD увеличился на 15 мс ($p=0,015$), однако по результатам однофакторного дисперсионного анализа с применением критерия Тьюки для множественных сравнений это увеличение оказалось статистически не значимым. Преобладание парасимпатического звена в регуляции ритма достоверно увеличилось на 15% ($p=0,006$). Показатель суммарного эффекта регуляции вариабельности ритма статистически значимо увеличился в 1,5 раза ($p < 0,0001$).

Таблица 2

Показатели вариабельности сердечного ритма после
кардиореспираторного тренинга

| Показатели ВСР | Группа 1 до КРТ $M \pm SD$ (n=12) | Группа 1 после КРТ $M \pm SD$ (n=12) | P |
|----------------|---|--|---------|
| RRср, мс | 829,7±112,4 | 878,0±77,6 | 0,133 |
| Amo, % | 43,2±10,4 | 29,6±8,5 | 0,006 |
| SDNN, мс | 48,2±20,9 | 81,7±25,1 | 0,002 |
| RMSSD, мс | 40,3±30,5 | 55,3±31,5 | 0,015 |
| pNN50, % | 15,0±15,3 | 30,6±21,7 | 0,006 |
| CV, % | 5,8±1,9 | 8,96±2,2 | <0,0001 |
| ИН, у.е | 143,2±98,8 | 49,1±26,7 | 0,015 |

При анализе показателей ВСР у спортсменов после просмотра мотивационных видеороликов статистически значимых различий выявлено не было (таблица 3).

Таблица 3

Показатели вариабельности сердечного ритма у спортсменов

группы плацебо

| Показатели ВСР | Группа 2 исходно M±SD (n=12) | Группа 2 результат M±SD (n=12) | P |
|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| RRср, мс | 864,2±136,6 | 912,8±95,9 | 0,235 |
| Amo, % | 33,0±9,6 | 27,8±5,4 | 0,072 |
| SDNN, мс | 65,8±18,7 | 75,3±17,8 | 0,351 |
| RMSSD, мс | 53,4±23,6 | 44,3±17,0 | 0,734 |
| pNN50, % | 22,4±18,0 | 32,1±16,1 | 0,073 |
| CV, % | 8,1±1,7 | 6,95±2,2 | 0,408 |
| ИН, у.е | 73,3±55,4 | 49,6±16,7 | 0,157 |

При оценке показателей ВСР по 5-минутным записям ЭКГ у спортсменов после тренировочной нагрузки в группе сравнения статистически значимых различий установлено не было (таблица 4).

Таблица 4

Показатели вариабельности сердечного ритма у спортсменов
группы сравнения

| Показатели ВСР | Группа 3 исходно M±SD (n=12) | Группа 3 результат M±SD (n=12) | P |
|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| RRср, мс | 764,9±170,7 | 838,3±101,4 | 0,094 |
| Amo, % | 33,7±14,4 | 35,3±7,3 | 0,710 |
| SDNN, мс | 75,8±33,0 | 57,1±11,6 | 0,264 |
| RMSSD, мс | 48,8±18,1 | 42,0±8,9 | 0,656 |
| pNN50, % | 27,2±15,8 | 20,4±8,4 | 0,075 |
| CV, % | 10,1±4,9 | 6,9±1,5 | 0,166 |
| ИН, у.е | 93,6±107,3 | 80,7±29,6 | 0,417 |

Таким образом, именно оригинальный метод биологической обратной связи оказал значимое корректирующее влияние на показатели вариабельности сердечного ритма у спортсменов, тренирующихся на выносливость. Достоверность полученных результатов подтверждалась соответствующими сопоставлениями с данными, полученными при обследовании группы плацебо и группы сравнения. Полученные данные совпадают с результатами исследования M. Paul и соавторов [7], которые выявили повышение вариабельности ритма после сеансов кардиореспираторного тренинга с использованием

биологической обратной связи. Однако в вышеуказанном исследовании использовался навязанный ритм частоты дыхательных движений, а в представленной нами методике применялась индивидуально разработанная кардиоритмограмма для каждого конкретного атлета.

Выводы. Кардиореспираторный тренинг в режиме адаптивного самоуправления способствует увеличению показателя суммарного эффекта регуляции вариабельности ритма у спортсменов, тренирующихся на выносливость.

References

1. Beauchamp M.K. An integrated biofeedback and psychological skills training program for Canada's Olympic short-track speedskating team / M.K. Beauchamp, R.H. Harvey, P.H. Beauchamp // Journal of Clinical Sport Psychology. – 2012. – №6. – P. 67–84.
1. Blumenstein B. Biofeedback for Sport and Performance Enhancement Subject: Oxford Handbooks / B. Blumenstein, I. Orbach // Psychology, Health Psychology. – 2014.
2. Blumenstein B. Biofeedback training: Enhancing athletic performance / B. Blumenstein, Y. Weinstein / Biofeedback. – 2011. – Vol. 39. – №3. – P.101–104.
3. Issurin V.B. Training transfer: Scientific background and insights for practical application // Sports Medicine. – 2013.
4. Malik M. 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 // Circulation. – 1996. – Vol.93. – №5. – P. 1043–1065.
5. Paul M. Role of biofeedback in optimizing psychomotor performance in sports / M. Paul, K. Garg, J.S. Sandhu // Asian J Sports Med. – 2012. – Vol. 3. – №1. – P. 29–40.

6. Suvorov N. Psychophysiological training of operators in adaptive biofeedback cardiorhythm control // The Spanish Journal of Psychology. – 2006. – Vol. 9. – №2. – P. 193–200.

Сергеева Елена Геннадьевна – д-р мед. наук, профессор ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России, Россия, Санкт-Петербург.

Sergeeva Elena Gennad'evna – doctor of medical sciences, professor at the Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Russia, Moscow.

Ибрагимова Татьяна Владимировна – аспирант ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России, Россия, Санкт-Петербург.

Ibragimova Tat'yana Vladimirovna – postgraduate at the Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Russia, Moscow.

Дидур Михаил Дмитриевич – профессор ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России, Россия, Санкт-Петербург.

Didur Mihail Dmitrievich – professor at the Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Russia, Moscow.
