

УДК [612.82:616.839]-053.6

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПОДРОСТКОВ

© 2009 г. ¹Е. В. Кривоногова, ¹²Л. В. Поскотинова,¹Д. Б. Дёмин¹Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН,²Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Архангельск

Увеличение информационных, психоэмоциональных перегрузок в процессе деятельности человека, нарастающая гиподинамия приводят к вегетативному дисбалансу. Особенно эти процессы выражены в дискомфортных условиях Севера, где увеличивается функциональная нагрузка на организм, что влечет к напряжению адаптационных процессов и ухудшению состояния здоровья [1–3, 7–9]. Уменьшение вариабельности сердечного ритма и снижение активности высокочастотных составляющих спектра свидетельствует о потере защитного влияния парасимпатической нервной системы и сигнализирует об увеличении риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. Обучение с детского возраста управлению функциональным состоянием своего организма посредством биологической обратной связи будет способствовать в последующем личности более эффективно справляться со стрессовыми воздействиями, используя энергосохраняющие стратегии. Именно обратные связи определяют устойчивость организма к внешним воздействиям, постоянство и стабильность функций его органов и систем [11, 12, 15, 16].

На основе исследования предельных возможностей пластичности информационно-аналитических мозговых процессов человек учится самостоятельно приводить себя в устойчивое состояние спокойного бодрствования. В результате БОС-тренинга организм переходит на новый уровень оптимального функционирования.

Оптимальное функционирование — психофизиологический феномен, формирующийся на основе **biofeedback technology**, обеспечивающий эффективное «перемещение» в любое состояние, требующее выполнения задания при непредсказуемом исходе, минимальном времени принятия альтернативного решения, гармоничном сочетании внутримозговой нейродинамики. Сочетание мышечного расслабления и высокой степени контроля сознания, концентрации внимания, активной работы воображения, значительных волевых усилий принципиально отличают этот метод от других релаксационных психотерапевтических процедур, таких как аутогенная тренировка, прогрессивная мышечная релаксация, медитация. С помощью биологической обратной связи решаются вопросы повышения эффективности обучения, развития творческих способностей, внимания и др. [17–19]. В настоящее время это научное направление продолжает развиваться и открывает новые подходы к пониманию процессов саморегуляции. Таким образом, целью работы является исследование психонейрофизиологических механизмов обеспечения эффективности адаптивного биоуправления параметрами вариабельности сердечного ритма.

В исследовании участвовали 23 практически здоровых подростка 13–16 лет. Методика адаптивного биоуправления по параметрам вариабельности сердечного ритма (ВСР) направлена на активизацию парасимпатического отдела вегетативной регуляции ритма сердца. При успешном биоуправлении наблюдали три варианта изменений компонентов энцефалограммы. При первом варианте снижение индекса напряжения и увеличение суммарной мощности спектра ВСР сопровождалось активизацией подкорковых вегетативных структур; при этом наблюдалось увеличение амплитуды α -ритма ($p = 0,025$), индекса β -активности ($p = 0,023$), амплитуды и индекса θ -волн. При втором варианте происходило повышение амплитуды α -ритма ($p = 0,031$), снижение индекса β -активности ($p = 0,022$), амплитуды и индекса θ -активности. При третьем варианте отмечалось снижение α -ритма ($p = 0,023$), повышение амплитуды и индекса β -активности ($p = 0,021$) и снижение индекса θ -активности ($p = 0,047$). Подростки, обладающие лучшей способностью к биоуправлению параметрами ВСР, по характеристикам темперамента отличаются высокой подвижностью нервных процессов.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, вариабельность сердечного ритма, электроэнцефалограмма, темперамент.

Материалы и методы

Обследованы в осенний период практически здоровые подростки — 12 девочек и 11 мальчиков в возрасте 13–16 лет, проживающие в пос. Климовская Коношского района Архангельской области. Подростки находились примерно в одинаковых социально-бытовых условиях. Перед началом исследования у родителей всех участников было получено информированное согласие, одобренное детьми. На предварительном этапе исследований провели 4–5 сеансов адаптивного биоуправления по параметрам вариабельности сердечного ритма (ВСР) с целью повышения резерва парасимпатической активности. В настоящем исследовании все подростки успешно справились с заданием. Сеанс адаптивного биоуправления проводили по авторской методике Л. В. Поскотиновой и Ю. Н. Семенова (патент № 2317771, время действия с 2006 года). Суть методики в том, чтобы с помощью дыхания активизировать парасимпатический отдел вегетативной регуляции ритма сердца и соответственно снизить влияние симпатической регуляции на ритм сердца. Рекомендовалось сочетание спокойного глубокого дыхания с эффективным плавным выдохом, мышечной релаксации и формирования положительно окрашенных мысленных образов. В процессе обследования так подбирает свое состояние, чтобы снижался график динамики значений индекса напряжения регуляторных систем (stress-index — SI) по Р. М. Баевскому.

В сеансе адаптивного биоуправления по параметрам ВСР учитывали три этапа: 1-й этап — запись электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и регистрация параметров ВСР (5 мин); 2-й этап — адаптивное биоуправление по параметрам ВСР (5 мин); 3-й этап — запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и регистрация параметров ВСР (5 мин).

Оценка состояния вегетативной нервной системы осуществлялась по показателям ВСР, определяемым с использованием АПК «Варикард» (г. Рязань) в положении сидя (5 мин) и при сеансе биоуправления (5 мин). Учитывали индекс напряжения (SI), суммарную мощность спектра ВСР (TP, $\text{мс}^2 \times 1000$), показатели мощности в высокочастотном диапазоне 0,4–0,15 Гц (HF и HF в %), в низкочастотном диапазоне 0,15–0,04 Гц (LF и LF в %), в сверхнизкочастотном диапазоне 0,04–0,015 Гц (VLF и VLF в %), а также суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения (SDNN) и степень активности автономного контура регуляции (CC1). При анализе рассматривали приросты данных показателей в % к состоянию покоя. Критериями эффективности адаптивного биоуправления являлись стабилизация или снижение SI и увеличение TP.

Оценка функционального состояния головного мозга осуществлялась по характеристикам α (8–13 Гц)-, β_1 (14–24 Гц)- β_2 (24–34 Гц)- и θ (4–7 Гц)-активности

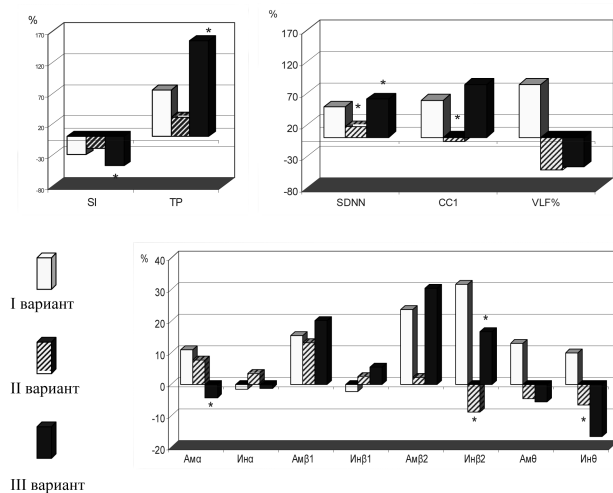
(амплитуда и индекс). ЭЭГ регистрировали по 16 каналам (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) в системе отведений «10–20 %» (референтные электроды на мочках ушей) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами с помощью электроэнцефалографа («Энцефалан-131-03», НПҚФ «МЕДИКОМ МТД», г. Таганрог). Анализ безартефактных отрезков ЭЭГ проводился с помощью базового пакета обработки комплекса «Энцефалан». При анализе рассматривали приросты показателей в % к фону.

Для исследования свойств темперамента использовалась методика В. М. Русалова, посредством которой оценивалась выраженность (низкая, средняя, высокая) эргичности, пластичности, темпа и эмоциональности. Статистическая обработка материалов проводилась с помощью программ Statistica 5.5. Статистическая значимость различий исследуемых величин между группами определялись с использованием метода Манна — Уитни. Различия считали значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведение адаптивного биоуправления по параметрам ВСР с биологической обратной связью показало, что, несмотря на то, что в данной группе у подростков выявлен положительный эффект, изменение значений компонентов ЭЭГ и параметров ВСР было различным. Выделено три варианта изменения функциональной активности головного мозга при адаптивном биоуправлении параметрами ВСР. Так, при первом варианте (рис. 1) снижение SI и увеличение TP сопровождалось некоторой активизацией подкорковых вегетативных структур (VLF%). При этом наблюдались изменения ЭЭГ, сопровождающиеся увеличением амплитуды α -ритма ($p = 0,025$), повышением индекса β_2 -активности ($p = 0,023$) и амплитуды и индекса θ -волн (на уровне тенденции). В литературе [5] отмечается, что в основе адаптивного биоуправления на первых сеансах лежит создание нового доминантного процесса, направленного на мобилизацию естественных резервов мозга и характеризующегося увеличением интенсивности β - и θ -составляющих ЭЭГ. Таким образом, поиск стратегии поведения для достижения полезного результата сопровождается активизацией различных структур головного мозга, что ведет к изменению функционального состояния центральной нервной системы, т. е. происходит формирование нового динамического стереотипа [13].

При втором варианте изменений ЭЭГ при уменьшении активности подкорковых вегетативных структур (VLF%), незначительном снижении SI и повышении TP происходит повышение амплитуды α -ритма ($p = 0,031$), снижение индекса β_2 -активности ($p = 0,022$), амплитуды и индекса θ -активности (на уровне тенденции). Известно, что высокий уровень α -ритма свидетельствует о хороших адаптивных возможностях организма. Повышение амплитуды α -ритма свиде-



Приросты (в % к состоянию покоя) показателей вариабельности сердечного ритма (SI, TP, SDNN, CC1, VLF) и электроэнцефалограммы (амплитуды и индексы α -, β - и θ -активности) при адаптивном биоуправлении с биологической обратной связью по параметрам вариабельности сердечного ритма

Примечание. * — $p < 0,05$ в сравнении с предыдущим вариантом.

тельствует об оптимизации корково-подкорковых взаимоотношений, способствующих уменьшению активности симпатического отдела вегетативной нервной системы. Снижение повышенной активности лимбической и гипоталамической областей сопровождается уменьшением уровня тревожности, психологической и физиологической реакции на стрессовое воздействие [4]. По данным Сметанкина [10], существенное возрастание выраженности α -ритма и снижение выраженности θ -ритма коррелирует со снижением уровня тревожности и эмоционального напряжения.

При третьем варианте значительное снижение SI и увеличение TP у подростков при адаптивном биоуправлении параметрами ВСР сопровождалось повышением SDNN ($p = 0,027$) и CC1, при этом отмечалось снижение α -ритма ($p = 0,023$), повышение амплитуды и индекса $\beta 2$ -активности ($p = 0,021$) и достоверное снижение индекса θ -активности ($p = 0,047$). Таким образом, данные исследования ЭЭГ детей при третьем варианте показали наличие изменений, которые могут свидетельствовать о повышении уровня активности коры больших полушарий и снижении влияния на нее со стороны срединных регуляторных структур головного мозга. Вероятно, при третьем варианте важным элементом для достижения положительного результата адаптивного биоуправления является концентрация внимания, т. е. концентрация на регуляции дыхания. Правильная или неправильная регуляция дыхания напрямую связана с достижением концентрации и, следовательно, с успехом биоуправления. ЭЭГ-активация (депрессия α -активности и усиление высокочастотных колебаний ЭЭГ) коррелируют с ростом возбудимости, реактивности и лабильности нейронов коры [6]. Подобная форма активации сенсорной и моторной группировок клеток при усилении высокочастотных колебаний биоэлектрической активности головного мозга на-

правлена на интеграцию нейронов в функциональные системы, что обеспечивает как эффективность процесса восприятия, так и выполнение определенного сенсомоторного акта [6].

Изменения функциональной активности головного мозга при втором и третьем вариантах отражают процессы возбуждения определенных структур головного мозга по принципу доминанты в ответ на выработку определенного поведения для достижения положительного результата биоуправления [14].

По данным исследования свойств темперамента было выявлено, что учащиеся с высокими показателями пластичности более успешны в выполнении сеансов адаптивного биоуправления. Так, в группе с высокой пластичностью прирост TP ($229,41 \pm 49,55$ %) достоверно выше ($p = 0,037$) по сравнению с группой со средней пластичностью — TP ($137,21 \pm 18,00$ %).

Таким образом, при биоуправлении вегетативными параметрами у здорового человека на первых сеансах происходят изменения функциональной системы, которые сопровождаются перестройкой пространственно-временных соотношений биопотенциалов мозга. Обозначенные варианты психо-нейровегетативных взаимодействий на первых этапах биоуправления параметрами вегетативной регуляции ритма сердца позволят в будущем разработать программы саморегуляции с учетом индивидуальных физиологических особенностей подростка. Обучение школьников методам саморегуляции с помощью принципов адаптивного биоуправления позволит улучшить процесс обучения и повысить устойчивость к действиям факторов окружающей среды. Оптимизация баланса симпатического и ваготропных механизмов на основе тренировки активационных и тормозных механизмов нервной системы позволит сохранить адаптационный потенциал подрастающего поколения.

Выводы

1. На первых этапах биоуправления с целью повышения резерва парасимпатической регуляции ритма сердца наличие различных вариантов нейровегетативных соотношений обусловлено разной степенью активности корковых и срединных структур головного мозга. Первый вариант изменений функциональной активности головного мозга отражает увеличение интенсивности α - β - θ -составляющих электроэнцефалограммы, обусловленное мобилизацией естественных резервов головного мозга при поиске нового алгоритма поведения.

2. Поиск стратегии поведения для достижения полезного результата при втором варианте сопровождается повышением амплитуды α -ритма, снижением индекса β -активности, амплитуды и индекса θ -активности, что свидетельствует об оптимизации корково-подкорковых взаимоотношений.

3. Изменение функциональной активности головного мозга при третьем варианте отражает повышение уровня активности коры больших полушарий на фоне

снижения влияния на нее со стороны срединных регуляторных структур головного мозга.

4. Подростки, обладающие лучшей способностью к биоуправлению параметрами variability сердечного ритма, по характеристикам темперамента отличаются высокой подвижностью нервных процессов, что свидетельствует о гибкости механизма переключения с одних программ поведения на другие.

Список литературы

1. Авцын А. П. Биогеохимические эндемии (микроэлементозы человека) / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков // Руководство по медицинской географии / под ред. А. А. Келлера, О. П. Щепина, А. В. Чаклина. — СПб. : Гиппократ, 1993. — С. 144–211.
2. Агаджанян Н. А. Человек в условиях Севера / Н. А. Агаджанян, П. Г. Петрова. — М. : КРУК, 1996. — 206 с.
3. Агаджанян Н. А. Экопортрет и здоровье жителей средней полосы России / Н. А. Агаджанян, А. А. Желтков, А. Е. Северин. — Тула : Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2000. — 309 с.
4. Айвазян Т. А. Биообратная связь в лечении гипертонической болезни: механизм действия предикторы эффективности / Т. А. Айвазян // Биоуправление-2: теория и практика. — Новосибирск, 1993. — С. 105–107.
5. Биоуправление: теория и практика. — Новосибирск : Наука. Сиб.отд-ние, 1988. — 162 с.
6. Голуб Я. В. Медико-психологические аспекты применения светозвуковой стимуляции и биологически обратной связи / Я. В. Голуб, В. М. Жиров. — СПб., 2007. — 97 с.
7. Деряпа Н. Р. Адаптация человека в полярных районах Земли / Н. Р. Деряпа, И. Ф. Рябинин. — Л. : Медицина, 1977. — 160 с.
8. Казначеев В. П. Биосистема и адаптация / В. П. Казначеев. — Новосибирск : Советская Сибирь, 1993. — 76 с.
9. Панин Л. Е. Медицинские и научные проблемы освоения человеком Крайнего Севера / Л. Е. Панин // Вестник АМН России. — 1993. — № 8. — С. 9–13.
10. Сметанкин А. А. Метод биологической обратной связи по дыхательной аритмии сердца — путь к нормализации центральной регуляции дыхательной и сердечно-сосудистой систем / А. А. Сметанкин // Биологическая обратная связь. — 1999. — № 2. — С. 3–14.
11. Сороко С. И. Возможности направленных перестроек параметров ЭЭГ у человека с помощью метода адаптивного биоуправления / С. И. Сороко, Т. Ж. Мусуралиев // Физиология человека. — 1995. — Т. 21, № 5. — С. 5.
12. Сохадзе Э. М. Биологическая (биотехническая) обратная связь — biofeedback — мониторинг и произвольный контроль физических параметров физиологических систем с мини-ЭВМ: препринт № 239 / Э. М. Сохадзе, М. Б. Штарк. — Новосибирск, 1984. — 44 с.
13. Судаков К. В. Динамические стереотипы или информационные отпечатки действительности / К. В. Судаков. — М. : Пер Сэ, 2002. — 128 с.
14. Ухтомский А. А. Доминанта / А. А. Ухтомский. — СПб. : Питер, 2002. — 448 с.
15. Федотчев А. И. Адаптивное биоуправление с обратной связью и контроль функционального состояния человека / А. И. Федотчев, А. Т. Бондарь, Е. В. Ким // Успехи физио-

логических наук. — 2002. — Т. 33, № 3. — С. 79.

16. Черниговская Н. В. Адаптивное биоуправление в неврологии / Н. В. Черниговская. — Л. : Наука, 1978. — 134 с.

17. Budzynski T. H. From EEG to neurofeedback / T. H. Budzynski // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / eds.: Evans J. R. & Abarbanel A. — Academic Press, 1999. — P. 65–79.

18. Lubar J. F. Neurofeedback assessment and treatment for attention deficit/hyperactivity disorders / J. F. Lubar, J. O. Lubar // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / eds.: Evans J. R. & Abarbanel A. — Academic Press, 1999. — P. 103–143.

19. Norris S. L. Performance enhancement training through neurofeedback / S. L. Norris, M. Currier // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / eds.: Evans J. R. & Abarbanel A. — Academic Press, 1999. — P. 223–240.

THE FUNCTIONAL BIOFEEDBACK EFFICIENCY BY AUTONOMIC PARAMETERS AND BRAIN BIOELECTRIC ACTIVITY AT ADOLESCENCES

¹E. V. Krivonogova, ¹²L. V. Poskotinova, ¹D. B. Dyomin

¹The Institute of Physiology Environmental, Russian Academy of Science, Ural Branch,

²Pomor State University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk

There are surveyed healthy 23 adolescences at the age 13-16 years. The biofeedback technique by heart rhythm variability (HRV) is directed on parasympathetic activity of heart rhythm autonomic regulation. There were observed three variances of electroencephalography components at successful biofeedback procedure. At the first variant stress-index decrease (SI) and total power (TP) of HRV-spectrum increase were accompanied by activity of subcortical autonomic structures. Thus were observed increase the α -rhythm amplitude ($p = 0,025$), increase β -activity index ($p = 0,023$), increase θ -activity amplitude and index. At the second variance there are observed increase α -rhythm amplitude ($p = 0,031$), decrease β -activity index ($p = 0,022$), decrease θ -activity amplitude and index. At the third variance were marked decrease α -rhythm activity ($p = 0,023$), increase β -activity amplitude and index ($p = 0,021$) and decrease θ -activity index ($p = 0,047$). The adolescences possessing the best ability to biofeedback technique by HRV-parameters have high nervous processes mobility (by results of temperament researches).

Key words: biofeedback, heart rhythm variability, electroencephalography, temperament.

Контактная информация:

Кривоногова Елена Вячеславовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии Института физиологии природных адаптаций УрО РАН

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249
Тел./факс (8182) 68-89-82

E-mail: elena200280@mail.ru

Статья поступила 26.01.2009 г.