

© Коллектив авторов, 2009

Д.Б. Демин, Л.В. Поскотинова, Е.В. Кривоногова

КОНТРОЛЬ ЭЭГ-РЕАКЦИЙ В ТЕЧЕНИЕ СЕАНСОВ АДАПТИВНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ У ШКОЛЬНИКОВ*

Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН, г. Архангельск, РФ

На сегодняшний день существует обширный спектр методик биологической обратной связи (БОС) или адаптивного биоуправления (АБУ) посредством визуализации физиологических параметров на экране монитора, позволяющих целенаправленно воздействовать на те функции организма, которые традиционно считаются мало зависимыми от воли и произвольных действий человека. К таким методикам относится АБУ отдельными параметрами электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электромиограммы, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и др. [1–4].

При соответствующей тренировке эта БОС закрепляется на уровне рефлекса и помогает перейти организму на новый, более правильный и здоровый режим работы. Тем самым могут решаться как фундаментальные научные задачи (изучение механизмов нервной регуляции в конкретных экспериментальных условиях), так и задачи практической медицины, например, при коррекции психогенных и вегетативных нарушений (нейроциркуляторные дистонии, психоэмоциональные расстройства, болевые синдромы и др.).

В настоящее время при выполнении исследований, посвященных определению эффективности метода АБУ, используется следующая последовательность действий: определение значения первичного параметра, выполнение процедуры БОС-тренинга, направленной на его стабилизацию и/или улучшение, определение значения того же параметра после проведения курса процедур. Подобные методы контроля являются внепроцедурными, т.е. оценивают некоторые параметры до и после проведения процедуры или курса процедур. Новым перспективным направлением контроля качества БОС-тренинга является возможность оценивать динамику неуправляемых параметров во время самой процедуры (внутрипроцедурный метод контроля).

В кардиопульмонологии в качестве биоуправляемых параметров чаще всего используются ЧСС, либо соотношение ЧСС и частоты дыхания (ЧД) [5, 6]. Нами

предложен способ применения в качестве управляемых показателей статистических и спектральных параметров variability сердечного ритма (ВСР), позволяющих дать интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности [7, 8].

С целью контроля эффективности выбранного нами способа АБУ у подростков, организм которых еще находится в процессе морфологического и функционального развития, выбраны неуправляемые в течение процедуры параметры ЭЭГ.

В исследовании принимали участие 54 школьника обоего пола 13–16 лет. Испытуемые выбирались на добровольной основе, практически здоровые с отсутствием в анамнезе травм головного мозга и неврологических нарушений. От всех обследованных лиц и их родителей было получено информированное согласие на участие в исследовании, одобренном биоэтическим комитетом института. Исследования проводили в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 ч. Перед исследованием проводили опрос испытуемых с целью исключения состояний напряжения, дискомфорта или утомления, а также давали установку на поддержание состояния спокойствия и расслабленности с целью возможной унификации психологического состояния.

Сеансы БОС проводили по авторской методике Л.В. Поскотиновой и Ю.Н. Семенова (патент на изобретение № 2317771 «Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variability сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (Build 2.8), с использованием биологической обратной связи») [7]. Аппаратно-программный комплекс «Варикард» включен в реестр рекомендуемого медицинского оборудова-

*Авторы выражают признательность Фонду содействия отечественной науке (2008–2009).

Контактная информация:

Демин Денис Борисович – к.биол.н., старший научный сотрудник лаб. биоритмологии ИФПА УрО РАН

Адрес: 163000 г. Архангельск, пр-т Ломоносова, 249

Тел.: (8182) 65-29-92, E-mail: denisdemin@mail.ru

Статья поступила 31.08.09, принята к печати 30.09.10.

ния, признан как в России, так и за рубежом в качестве эффективного аппаратного диагностического средства в различных областях физиологии и в медицине.

Для реализации принципа БОС обследуемый получал на экране монитора информацию о состоянии суммарной мощности спектра ВСП, либо о состоянии индекса напряжения регуляторных систем [5, 9] в виде окна с заданными пределами его колебаний (оптимальная зона от 50 до 150 усл. ед.). Перед началом исследования испытуемому давали инструкцию о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния. Формирование состояния, отражающего изменение выбранных параметра, производили посредством стратегии «свободного поиска» – сочетание спокойного глубокого дыхания с эффективным плавным выдохом, мышечной расслабленности и создания положительно окрашенных мысленных образов.

Наши предыдущие исследования [8, 10] показали, что направленное произвольное управление вегетативной регуляцией с целью мобилизации функциональных резервов парасимпатической активности у подростков становится возможным только после 3–4 сеансов обучения, когда у испытуемых минимизируется рефлекс на обстановку исследования и устанавливается ассоциативная связь между изменениями графика движения параметров ВСП и внутренним состоянием. При эффективном завершении процедуры БОС (снижение индекса напряжения – ИН, увеличение суммарной мощности спектра ВСП) испытуемые достигали состояния общей расслабленности, покоя, психического комфорта и эмоционального равновесия.

В данном исследовании с каждым школьником было проведено 10 сеансов БОС-тренинга по вышеописанной методике. С целью контроля эффективности АБУ во время первого и последнего сеансов проводили оценку биоэлектрической активности головного мозга. ЭЭГ регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами на ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» монополярно от 16 стандартных отведений с ушными референтными электродами, установленными по международной системе 10–20 в полосе 1–35 Гц. Схема сеанса включала 4 этапа:

1) 5-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (регистрация фона, реакция активации и ритмическая фотостимуляция в диапазоне частот 4–22 Гц) с одновременной регистрацией параметров ВСП на АПК «Варикард»;

2) 5-минутная процедура БОС, проводимая по вышеописанной методике;

3) регистрация реакции последействия (воспроизведение комфортного состояния без сигналов обратной связи) – 5-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (повторение первого этапа);

4) 2-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (регистрация заключительного фона).

При оценке ЭЭГ каждого испытуемого выделяли безартефактные отрезки записи, спектр анализировали по Δ (1,5–3,5 Гц), θ (4–7 Гц), α (7,5–12,5 Гц), β_1 (13–21 Гц) диапазонам. Для количественной оценки спектра

ЭЭГ в каждом частотном диапазоне проводили усредненную для каждого испытуемого оценку амплитуды (мкВ), индекса (%), доминирующих частот, реакции усвоения ритмов фотостимуляции с вариантами гармоник первого и второго порядка.

Статистическую обработку полученных результатов проводили непараметрическими методами, учитывали средние значения (M), стандартные отклонения (SD). Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимали за 0,05.

Увеличение суммарной мощности (TP) спектра ВСП в процессе БОС-тренинга свидетельствует об увеличении синхронизации процессов дыхания и сердечной деятельности и об усилении влияния парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца.

При первом сеансе биоуправления у подростков TP ритма сердца значительно повышалась в сравнении с фоновым значением (5054 мс² против 3277 мс², $p < 0,01$), при этом ИН значительно снижался (54,54 против 96,03 усл.ед., $p < 0,05$). В процессе тренинга в среднем из 10 сеансов 7–8 были эффективными. Фоновое значение TP спектра ВСП к 10-му сеансу имело тенденцию к повышению, однако после 10-го сеанса БОС-тренинга увеличение TP спектра ВСП по отношению к фону было на уровне тенденции (4423 мс² против 3375 мс²). Можно предположить, что в процессе БОС-тренинга с целью повышения парасимпатических влияний на ритм сердца у здоровых лиц срабатывает механизм стабилизации вегетативного тонуса с целью сохранения вегетативного гомеостаза. Поэтому при систематическом воздействии увеличения сдвига в сторону парасимпатического тонуса уже не происходит.

В проведенных исследованиях было обнаружено, что перестройки параметров ЭЭГ при произвольной регуляции характеристиками ВСП могут достигаться как за счет изменения амплитуды отдельных составляющих спектра ЭЭГ, так и изменения их удельного веса (индекса) в биоэлектрической активности (см. таблицу).

Изменение средних значений ($M \pm SD$) изучаемых показателей во время первого сеанса биоуправления выражалось в их повышении от фона (1-й этап) к последнему БОС (3-й этап) и вновь в снижении к заключительному фону (4-й этап), что может свидетельствовать о высокой реактивности мозговых структур в ответ на процедуру БОС-тренинга. Исключение составил лишь θ -индекс, который несколько снизился к 3-му этапу, а затем вернулся к исходному уровню.

Значимое повышение β_1 -активности в течение 1-го сеанса может являться признаком повышения концентрации внимания в процессе формирования БОС. Результаты некоторых исследований показали, что успешность выполнения вербальных заданий с элементами новизны и тестов на зрительно-пространственные отношения положительно связана с высокой активностью β -диапазона ЭЭГ. Также предполагается, что эта активность связана с отражением деятельности механизмов сканирования структуры внешнего стимула, осуществляемой нейронными сетями, продуцирующими высокочастотную активность ЭЭГ [11].

Таблица

**Изменение амплитуды и индекса основных частотных диапазонов в динамике
1-го и 10-го сеансов БОС-тренинга у школьников**

Диапазон	Этап	1-й сеанс		10-й сеанс	
		амплитуда	индекс	амплитуда	индекс
α	1-й	40,7±11,8	19,2±8,3	39,2±11,3	18,3±7,1
	3-й	41,8±12,5	18,9±8,0	39,1±11,8	17,9±7,2
	4-й	40,5±14,2	19,3±8,4	38,2±11,5	17,5±8,2
θ	1-й	68,1±22,4	60,5±17,5	70,8±20,1	63,7±15,9 ⁴
	3-й	75,3±23,7 ³	63,1±17,0 ¹	73,4±22,3	61,2±17,3
	4-й	68,7±23,0 ²	59,9±17,6 ²	69,7±20,4 ¹	58,7±16,4 ¹
β_1	1-й	30,3±8,2	37,1±6,1	32,5±8,7	38,6±5,8
	3-й	32,7±8,5 ²	38,4±5,2	32,4±8,3	38,5±5,4
	4-й	30,8±8,3 ²	37,5±5,1	31,9±8,5 ⁴	38,9±6,5

1-й этап – фон; 3-й этап – реакция последствия БОС; 4-й этап – заключительный фон; ¹p<0,05; ²p<0,01; ³p<0,001 при сравнении показателей с предыдущим этапом; ⁴p<0,05 при сравнении показателей между сеансами на одном этапе.

Во время последнего 10-го сеанса БОС-тренинга у школьников исходные фоновые средние значения амплитуды и индекса в θ -диапазоне были ниже таковых во время 1-го сеанса, а динамика выражалась в отчетливом их снижении к заключительному фону (4-й этап). Начальные фоновые значения в α - и β_1 -диапазонах, наоборот, были выше таковых во время 1-го сеанса. Динамика амплитуды α -диапазона была аналогична 1-му сеансу, а α -индекс значительно снижался в течение всего сеанса. Средние значения в β_1 -диапазоне практически не изменялись.

В целом, к 10-му сеансу БОС-тренинга по предложенной методике у подростков происходит сдвиг фоновой биоэлектрической активности в сторону более высоких частот, преимущественно в α -диапазоне, что свидетельствует об оптимизации корково-подкорковых взаимодействий. При функциональных перестройках в заданных условиях процедуры происходит формирование нового алгоритма работы ритмозадающих систем за счет снижения активности глубоких подкорковых структур (θ -активность), на фоне оживления структур, ответственных за сосредоточение и поисковую активность в новых условиях (β -активность). Известно, что формирование оптимального соотношения β - θ -активности головного мозга в подростковый период важно с точки зрения профилактики и коррекции синдрома гиперактивности [1].

При оценке реакции усвоения ритмов (РУР) фотостимуляции с вариантами гармоник 1-го и 2-го порядка у школьников во время первого сеанса отмечено ее повышение на этапе последствия БОС по сравнению с фоном в θ -диапазоне и снижение в α - и β_1 -диапазонах. Усвоение в θ -диапазоне (при сохранении собственной доминирующей частоты в α -диапазоне) происходило: РУР1 (в 22% случаев) – РУР3 (26%); в α -диапазоне:

РУР1 (84%) – РУР3 (72%); в β_1 -диапазоне: РУР1 (34%) – РУР3 (25%).

Некоторое увеличение числа подростков с РУР при фотостимуляции 4–6 Гц происходило на фоне снижения индекса θ -активности после БОС-тренинга. Таким образом, небольшое повышение реактивности касается в первую очередь ритмозадающих структур α - β -диапазона, где зафиксированы гармоники 1-го и 2-го порядка относительно θ -частоты фотостимуляции.

Аналогичная реакция отмечена у этих же школьников во время заключительного 10-го сеанса БОС-тренинга, но исходно число РУР было уже меньше: θ -диапазон: РУР1 (18%) – РУР3 (21%); α -диапазон: РУР1 (81%) – РУР3 (74%); β_1 -диапазон: РУР1 (31%) – РУР3 (22%). Иначе говоря, можно предположить, что комплекс сеансов БОС-тренинга на повышение парасимпатической активности вегетативной регуляции ритма сердца в конечном итоге способствует повышению устойчивости ритмозадающих структур головного мозга.

Таким образом, способность испытуемого изменить активность вегетативной регуляции ритма сердца определяет степень сохранности функциональных резервов его центральных структур вегетативной регуляции. АБУ параметрами ритма сердца с целью повышения резервов его парасимпатической регуляции способствует не только эффективной работе сердечно-сосудистой системы, но и оптимизации биоэлектрической активности мозга подростка. Курс из 10 таких процедур способствует повышению устойчивости подкорковых структур регуляции, не позволяющих отклоняться частотному спектру ЭЭГ за определенные пределы. В то же время, очевидно, что пределы возможных направленных сдвигов параметров ЭЭГ зависят от их исходного состояния, степени эффективности БОС-тренинга и, вероятно, от психоэмоционального состояния испытуемого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сороко С.И. Коррекция нервно-психических нарушений, дизадаптационных нарушений с помощью метода функционального биоуправления с ЭЭГ-обратными связями. Физиология человека, 1995; 21 (6): 14–17.
2. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. Под ред. А.М. Вейна. М.: Медицинское информационное агентство, 2003.
3. Долецкий А.Н. Использование нейрофизиологических

критериев для прогноза успешности управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи. Вестн. Волгоградского гос. мед. ун-та, 2005; 2: 8–11.

4. *Василевский Н.Н., Суворов Н.Б., Сидоров Ю.А.* О роли биоритмологических процессов в механизмах адаптации и коррекции регуляторных дисфункций. Физиология человека, 1993; 19 (1): 91–98.

5. *Марченко В.Н., Гвоздев Е.В., Павлова Е.В.* Проблема артериальной гипертензии: современные представления, классификация и место метода биологической обратной связи в комплексной терапии: Учебно-методическое пособие. СПб., 2003.

6. *Сметанкин А.А.* Метод биологической обратной связи по дыхательной аритмии сердца – путь к нормализации центральной регуляции взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой систем: Учебно-методическое пособие. СПб.: Изд-во НОУ «Институт БОС», 2003.

7. *Поскотинова Л.В., Семенов Ю.Н.* Пат. 2317771 РФ. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего

под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), с использованием биологической обратной связи. Опубл. 27.02.2008, бюлл. № 6.

8. *Поскотинова Л.В., Семенов Ю.Н., Кривоногова Е.В., Дёмин Д.Б.* Применение аппаратно-программного комплекса «Варикард» для коррекции вегетативных дисбалансов. IV междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007; 11: 266–267.

9. *Баевский Р.М., Берсенева Е.Ю., Максимов А.Л., Соболев А.М.* Оценка функциональных резервов организма у альпинистов на основе анализа вариабельности сердечного ритма. V науч.-практ. конф. «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». М., 2003: 287–292.

10. *Кривоногова Е.В., Поскотинова Л.В., Дёмин Д.Б.* Эффективность адаптивного биоуправления параметрами вариабельности сердечного ритма в зависимости от особенностей высшей нервной деятельности. Сибирский консилиум, 2007; 62 (7): 51–52.

11. *Равич-Щербо И.В., Марютина Т.М., Григоренко Е.Л.* Психогенетика. М.: Аспект Пресс, 2000.