

Д.Б. Дёмин

Учреждение Российской академии наук Институт физиологии природных адаптаций
Уральского отделения РАН, Архангельск

Оценка полиграфических реакций при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков с разными вариантами вегетативного статуса

Рассматривается характер изменения биоэлектрической активности головного мозга и полиграфических показателей при проведении сеансов биологической обратной связи по параметрам variability сердечного ритма у подростков в возрасте 15–17 лет с различным типом вегетативных влияний на активность сердечной деятельности. Выявлено, что у подростков со сбалансированным вегетативным тонусом происходит более интенсивная оптимизация функциональной активности головного мозга, проявляемая в увеличении альфа- и снижении тета-активности в структуре электроэнцефалограммы. У подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности после проведения сеанса биоуправления наряду с улучшением нейродинамических процессов происходит наиболее выраженная стабилизация показателей центральной гемодинамики.

Ключевые слова: электроэнцефалография, variability сердечного ритма, биоуправление, вегетативный тонус, подростки.

11

Введение

Известно, что длительное напряжение регуляторных систем организма может приводить к истощению адаптационных резервов, нарушению физиологических ритмов и механизмов регуляции [1]. Организм подростка, находящийся в процессе морфологического и функционального развития, в большей степени подвержен влиянию стресс-факторов, особенно в неблагоприятных климатических условиях Севера и возрастающей школьной нагрузки [2]. В этой связи возникает потребность поиска методов, адресованных к нейрофизиологическим механизмам адаптивной перестройки интегративных систем мозга, способствующих восстановлению нарушенных физиологических функций. На сегодняшний день в мировой научно-исследовательской и лечебно-профилактической практике продемонстрирована эффективность и пер-

спективность применения методов функционального биоуправления на основе биологической обратной связи (БОС) для решения не только фундаментальных научных задач (изучение механизмов нервной регуляции в конкретных экспериментальных условиях), но также вопросов практической медицины (например, при коррекции психогенных и вегетативных нарушений) [1, 3, 4]. С учетом того, что на фоне психоэмоционального напряжения имеет место смещение баланса вегетативной нервной системы в сторону симпатикотонии, что проявляется прежде всего в нарушении ассоциативных вегетативных связей между водителями ритмов сердца и легких, выбор наиболее оптимального метода коррекции должен основываться на активационном воздействии парасимпатической нервной системы, которая преимущественно обеспечивает сердечно-легочные взаимодействия и позволяет оптимизировать вегетативный баланс.

D.B. Demin

The Institute of Environmental Physiology, Russian Acad. Sci., Ural Branch, Arkhangelsk

The assessment of reactions of polygraphic parameters at HRV-biofeedback training in adolescents with different variants of cardiac autonomic nervous system tone

There is examine a character of change of brain bioelectric activity and polygraphic indicators at sessions of biofeedback by heart rhythm variability parameters (HRV-biofeedback) in 15–17 years adolescents who have different variants of cardiac autonomic nervous system tone. It is taped, that adolescents with cardiac balanced tone have more intensive optimization of functional brain activity in comparison with adolescents who have cardiac sympathetic tone — increase on alpha-activity and theta-activity depression in electroencephalogram structure. There were optimization of neurodynamic processes and most expressed stabilization of the hemodynamics indicators in adolescents with cardiac sympathetic tone after HRV-biofeedback training.

Key words: electroencephalography, heart rate variability, HRV-biofeedback, cardiac autonomic nervous system, adolescents.

В данной работе использован способ биоуправления статистическими и спектральными параметрами variability сердечного ритма (ВСР), предоставляющий интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности [5].

Целью настоящей работы стало изучение особенностей функциональной активности головного мозга и некоторых полиграфических показателей у подростков с различными типами вегетативных влияний на активность сердечной деятельности при прохождении БОС-тренинга по предложенному способу.

Методика

В исследовании принимали участие 126 подростков обоего пола в возрасте 15–17 лет. Испытуемые выбирались на добровольной основе, 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 проводились в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 часов. После первичного анализа фоновых показателей ВСР (суммарная мощность спектра и индекс напряжения регуляторных систем), артериального давления и частоты сердечных сокращений все испытуемые были условно разделены на 2 группы: лица со сбалансированным вегетативным тонусом — нормотоники ($n=71$) и лица с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности — симпатотоники ($n=55$). Группу нормотоников составили практически здоровые подростки, в группу симпатотоников вошли также лица с нейроциркуляторной дистонией и артериальной гипертензией в стадии компенсации, не получавшие на момент обследования медикаментозного лечения.

Сеансы биологической обратной связи проводились по авторской методике Л.В. Поскотиновой, Ю.Н. Семёнова (патент на изобретение № 2317771) [5]. Для реализации принципа БОС обследуемому на экран монитора выводилась информация о состоянии суммарной мощности спектра ВСР [6] в виде окна с заданными пределами его колебаний. Перед началом исследования испытуемому предлагалась инструкция о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния. Формирование состояния, отражающего изменение выбранного параметра, производилось посредством стратегии «свободного поиска» — создания положительно окрашенных мысленных образов в сочетании со спокойным глубоким дыханием с эффективным плавным выдохом и мышечной расслабленностью.

В данном исследовании с каждым подростком был проведен один сеанс БОС-тренинга по вышеописанной методике [5]. С целью контроля эффективности адаптивного биоуправления во время сеансов проводили оценку биоэлектрической активности головного мозга. Электроэнцефалографию (ЭЭГ) регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами на ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком МТД», Таганрог) монополярно от 16 стандартных отведений с ушными референтными электродами, установленными по международной системе: ширина полосы 10–20 в диапазоне 1,6–30 Гц. Схема сеанса включала четыре этапа:

1) 5-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (регистрация фона) с одновременной регистрацией параме-

тров variability сердечного ритма на аппаратно-программном комплексе «Варикард» (Рамена, Рязань) и спонтанной кожно-гальванической реакции;

2) 5-минутная процедура БОС, проводимая с открытыми глазами по вышеописанной методике [5] без регистрации ЭЭГ;

3) регистрация реакции последствия (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 (заключительный фон).

При оценке ЭЭГ каждого испытуемого выделяли безартефактные отрезки записи; спектр анализировали по дельта- (1,6–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета₁- (13–24 Гц) диапазонам. Для количественной оценки спектра ЭЭГ в каждом частотном диапазоне проводили усредненную для каждого испытуемого оценку максимальной амплитуды (мкВ), индекса (%), доминирующих частот.

Регистрацию спонтанной кожно-гальванической реакции (СКГР) проводили одновременно с записью ЭЭГ на ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» при помощи двух стандартных электродов, закрепленных на указательном и среднем пальцах руки испытуемого. При анализе СКГР учитывали динамическое изменение ее амплитуды (мВ).

Фиксацию артериального давления (АД, мм рт.ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд / мин) проводили в конце каждого этапа трехкратно с последующим усреднением показателей при помощи автоматического измерителя артериального давления (тонометра) «A&D Medical» (модель UA-668, Япония).

Статистическую обработку полученных результатов проводили непараметрическими методами с помощью компьютерного пакета прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft, США). Учитывали средние значения (M) и стандартные отклонения (SD). Для проверки статистической гипотезы разности средних значений использовали критерий Вилкоксона и сравнения средних рангов для всех групп. Корреляционный анализ параметров проводили с учетом ранговой корреляции по Спирмену. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимали за 0,05.

Сбор и дальнейшее использование первичного материала в рамках данной работы проводили совместно с сотрудниками лаборатории биоритмологии УРАН ИФПА УрО РАН Л.В. Поскотиновой и Е.В. Кривоноговой.

Результаты и обсуждение

Группы испытуемых были условно сформированы по фоновым показателям variability сердечного ритма (суммарная мощность спектра и индекс напряжения регуляторных систем), АД и ЧСС (табл. 1).

Во время сеанса биоуправления у подростков обеих групп средние значения суммарной мощности спектра ВСР (Total Power — TP, mc^2) значительно повышались в сравнении с фоновыми показателями, а затем также значительно снижались практически до исходных значений ($p<0,01-0,001$). Увеличение суммарной мощности спектра ВСР в процессе БОС-тренинга свидетельствует об увеличении синхронизации процессов дыхания и сердечной деятельности и усилении влияния парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца [6]. Индекс напряжения регуляторных систем (ИН, усл. ед.) значительно снижался на

Таблица 1. Изменение средних значений показателей центральной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и спонтанной кожно-гальванической реакции в динамике сеанса биоуправления у подростков в возрасте 15–17 лет в зависимости от их исходного вегетативного тонуса

Исследуемый показатель	Группа	ФОН	БОС	Заключительный ФОН
САД (мм рт. ст.)	Н	115,3±11,0	114,9±10,3	112,9±9,7*
	С	116,6±9,7	113,6±10,7**	113,2±10,0
ДАД (мм рт. ст.)	Н	78,5±6,6	77,7±7,0	77,6±7,0
	С	78,9±8,4	78,6±7,7	76,9±7,8
ЧСС (уд / мин)	Н	75,4±7,8	77,6±6,3*	75,2±6,8**
	С	83,8±10,7###	83,6±10,0##	79,1±9,3***,##
ИН (усл. ед.)	Н	89,1±25,4	66,1±24,3***	100,7±32,9***
	С	249,4±82,7###	158,3±47,4***,###	227,9±77,0*,##
ТР (мс ²)	Н	2819,3±401,3	4672,9±743,4***	3045,9±558,5***
	С	1414,0±363,2###	3062,5±627,6***,###	1839,0±419,0**,##
Ам СКГР (мВ)	Н	12,1±6,3	29,9±10,8***	12,9±7,2***
	С	13,8±7,3	32,2±12,0***	9,0±5,7***

Примечание. САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, ИН — индекс напряжения регуляторных систем, ТР — суммарная мощность спектра вариабельности сердечного ритма, Ам СКГР — амплитуда спонтанной кожно-гальванической реакции; Н — нормотоники (n=71); С — симпатотоники (n=55). Статистически значимые отличия в сравнении с предыдущим этапом исследования: * — p<0,05; ** — p<0,01; *** — p<0,001; между группами на одном этапе: ## — p<0,01; ### — p<0,001.

этапе биоуправления, а на заключительном этапе сеанса также значимо повышался, т.е. возвращался к исходному уровню у всех подростков независимо от исходного вегетативного тонуса (p<0,05–0,001). При этом фоновые и динамические межгрупповые различия изучаемых показателей ВСР также были статистически значимы (p<0,01–0,001) — ТР в группе нормотоников был значимо выше, а ИН ниже.

Изменения показателей центральной гемодинамики в процессе БОС-тренинга были более разнообразными. Так, у симпатотоников происходило снижение систолического АД (p<0,01) и ЧСС (p<0,001) в течение сеанса биоуправления или после его окончания. У нормотоников также снижалось систолическое АД, более значимое после окончания сеанса (p<0,05), а ЧСС повышалась при биоуправлении (p<0,05) и снижалась после окончания сеанса (p<0,01). Средние значения диастолического АД снижались на уровне тенденции в течение всего сеанса биоуправления и после его окончания у подростков обеих групп. Значимые межгрупповые различия отмечены только для ЧСС, которая была ниже в группе нормотоников (p<0,01–0,001). Подобные проявления оптимизации нейровегетативных процессов показаны в эффектах различных БОС-методик коррекции гипертензивных состояний [3, 4].

Динамика средних значений СКГР была идентичной в обеих группах обследованных подростков и проявлялась в значимом повышении во время сеанса биоуправления (p<0,001) и снижении после его окончания (p<0,001). Увеличение амплитуды пиков СКГР, которое было зафиксировано в процессе БОС-тренинга, можно связать с активацией вегетативной нервной системы, а также с ориентировочной реакцией на новизну информации. Так, по изменению амплитуды кожной реакции судят, например, об эмоциональной значимости для субъекта предъявляемых когнитивных заданий и других стимулов, в том числе эндогенного характера [7].

В проведенных исследованиях было обнаружено, что перестройки параметров ЭЭГ при произвольной регуляции характеристиками ВСР могут достигаться как за

счет изменения амплитуды отдельных составляющих спектра ЭЭГ, так и изменения их удельного веса (индекса) в биоэлектрической активности (табл. 2).

Выявлено, что фоновые и динамические значения амплитудно-частотных характеристик в альфа- и бета-диапазонах были несколько выше в группе симпатотоников за счет высокой частоты встречаемости гиперсинхронных, высокоамплитудных вариантов ЭЭГ. Так, у половины подростков этой группы максимум амплитуды альфа-активности был выше 90 мкВ за счет всплеск в теменно-центрально-лобных областях головного мозга, а сама альфа-активность была представлена заостренными волнами. Формирование фоновых гиперсинхронных паттернов ЭЭГ свидетельствует о наличии дисфункций диэнцефальных структур головного мозга, которые могут быть в основе нарушения центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса [8]. Изменение средних значений (M±SD) изучаемых показателей в альфа-диапазоне во время сеанса биоуправления выразилось в их значимом повышении (p<0,05–0,01) от фона к этапу последствия БОС и вновь снижении в пределах нормативных значений (p<0,01–0,001) к заключительному фону в обеих группах подростков. На фоне повышения суммарной мощности спектра ВСР и СКГР, снижения индекса напряжения и систолического АД в обеих группах подростков отмечено повышение средних значений амплитуды и индекса альфа-диапазона от фона к этапу биоуправления. Известно, что усиление активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции может приводить к улучшению состояния мозгового кровотока и биоэлектрических процессов головного мозга [1]. При этом восстановление симпатических влияний на ритм сердца на этапе заключительного фона происходило параллельно со снижением альфа-активности в обеих группах, что может свидетельствовать о высокой реактивности мозговых структур в ответ на процедуру БОС-тренинга. Во время регистрации заключительного фона средние значения амплитудно-частотных характеристик альфа-активности снизились практически к уровням начальных фоновых значений в обеих группах

лиц независимо от исходного вегетативного тонуса. Этот факт подчеркивает наличие определенных изменений функциональной активности головного мозга, происходящих на предыдущих этапах, обусловленных именно эффектами биоуправления. В группе симпатотоников после выполнения процедуры БОС-тренинга происходит регулирование ритмов и сдвиг биоэлектрической активности в сторону более высоких амплитуд, преимущественно в альфа-диапазоне, что может свидетельствовать об уменьшении уровня эмоционального напряжения при выполнении задания и синхронизации корково-подкорковых взаимодействий [9].

Средние показатели тета- и бета₁-активности к этапу последействия БОС изменялись на уровне тенденции, значимое их снижение в пределах нормативных значений ($p < 0,05$), особенно в группе нормотоников, происходило лишь к заключительному фону. Как известно, основную роль в генезе тета-ритма играют промежуточный мозг и лимбическая система, то есть структуры, непосредственно участвующие в детекции и регуляции эмоций [9]. Наблюдаемая депрессия тета-активности может быть обусловлена стабилизацией психоэмоционального состояния испытуемого при выполнении процедуры БОС-тренинга и активацией восходящих влияний глубинных структур на кору мозга.

14

При корреляционном анализе изучаемых показателей в группе нормотоников отмечены связи систолического артериального давления (САД) как с фоновыми, так и с динамическими показателями биоэлектрической активности мозга — амплитудой (Ам), индексом (Ин) и абсолютным значением мощности (АЗМ) в стандартных отведениях: САД—Ам Альфа ($r=0,35$); САД—Ин Тета ($r=-0,44$); САД—АЗМ Тета O_{1-2} ($r=-0,37$); САД—АЗМ Бета F_{3-4} ($r=-0,42$). В группе симпатотоников наряду с САД в корреляционных связях также участвуют ЧСС, суммарная мощность спектра ВСР (ТР) и СКГР: САД—Ам Альфа ($r=0,43$); ЧСС—Ам Тета ($r=-0,38$); ЧСС—АЗМ Бета F_{3-4} ($r=-0,41$); ТР—Ам Бета ($r=0,55$); СКГР—АЗМ Тета F_{3-4} ($r=-0,39$); СКГР—АЗМ Бета F_3 ($r=-0,47$).

При раздражении определенных зон гипоталамуса и миндалины у этих подростков преобладают симпатические влияния на сердечно-сосудистую систему, характерные для состояния стресса. Ранее было отмечено, что выраженный характер подобных гемодинамических сдвигов возникает при повышении активи-

рующих влияний со стороны ретикулярной формации ствола мозга на кору больших полушарий, что приводит также к усилению нисходящей активации, проявляемой в склонности к повышению АД и ЧСС [10]. Известно также, что реализация КГР находится в тесной связи с потоотделением и его терморегуляционной функцией. Экринные потоотделительные железы, определяющие генез КГР, имеют чисто симпатическую иннервацию в отличие от других органов, которые имеют смешанную симпатическую и парасимпатическую иннервацию [7]. Установлены многочисленные влияния лимбической системы на терморегуляционные функции гипоталамуса [11]. Соответственно, наибольшее влияние на КГР должны иметь те кортикальные области, которые взаимодействуют с лимбическими структурами. В нашем исследовании также обнаружена кортикальная реакция на проведение сеанса в виде изменения активности лобных долей. Можно предположить, что в основе формируемого функционального состояния организма при кардиотренинге лежит неспецифическая активация, которая обеспечивается участием ретикулярной формации, гипоталамуса, неспецифических ядер таламуса, корой больших полушарий.

Таким образом, способность испытуемого изменять активность параметров ритма сердца также определяет степень его воздействия и на функции центральных структур вегетативной регуляции. Меняя ритмические механизмы за счет изменения нейромодуляторных влияний подкорковых структур регуляции, кардиотренинг нормализует механизмы активации, улучшая при этом кортикальную стабильность. В зависимости от исходного вегетативного тонуса адаптивное биоуправление параметрами ритма сердца с целью повышения резервов его парасимпатической регуляции формирует сходные по характеру, но различные по силе варианты изменений биоэлектрической активности мозга подростка, показателей ВСР и центральной гемодинамики. Наибольшая выраженность гемодинамических изменений (снижение АД и ЧСС) отмечена для группы подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности. У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции происходит более интенсивная оптимизация нейродина-

Таблица 2. Изменение средних значений амплитуды и индекса основных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике сеанса биоуправления у подростков в возрасте 15–17 лет в зависимости от их исходного вегетативного тонуса

Изучаемый показатель	Группа	ФОН	Реакция последействия БОС	Заключительный ФОН
Амплитуда Тета (мкВ)	Н	40,6±15,4	40,7±15,2	39,1±15,8**
	С	40,0±16,7	40,2±16,3	39,3±16,6*
Индекс Тета (%)	Н	18,5±9,8	17,8±9,7*	16,9±9,9*
	С	18,1±10,0	17,9±9,6	17,7±8,9
Амплитуда Альфа (мкВ)	Н	74,5±20,7	78,6±24,0**	75,7±21,6**
	С	78,3±22,1	81,2±23,3*	76,1±20,7**
Индекс Альфа (%)	Н	64,0±15,3	64,6±17,5	62,4±15,4***
	С	63,1±15,4	64,0±13,1	61,1±14,5***
Амплитуда Бета ¹ (мкВ)	Н	30,4±9,6	30,4±10,2	28,8±10,2***
	С	30,5±9,8	31,3±10,4	30,0±10,1**
Индекс Бета ¹ (%)	Н	33,8±8,1	33,5±7,8	32,5±8,3**
	С	34,6±9,2	34,6±8,7	35,0±9,1

Примечание. Н — нормотоники (n=71); С — симпатотоники (n=55). Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

мических процессов (увеличение альфа- и снижение тета-ритмов). Стоит отметить, что контроль неуправляемых полиграфических показателей при биоуправлении в целом имеет существенное значение не только для определения функционального состояния испы-

туемого и эффективности проводимого тренинга, но может также служить материалом для проведения физиологических исследований, результаты которых, в свою очередь, могут использоваться для разработки более эффективных БОС-процедур.

REFERENCES

1. Vejn A.M. Vegetativnye rasstrojstva: klinika, diagnostika, lechenie. *M.: Medicinskoje informacionnoje agentstvo.* 2003. 752 s.
2. Rapoport Zh.Zh. Adaptacija rebenka na Severe. *L.: Medicina.* 1979. 172 s.
3. Marchenko V.N., Gvozdev E.V., Pavlova E.V. Problema arterial'noj gipertenzii: sovremennye predstavleniya, klassifikacija i mesto metoda biologicheskoj obratnoj svyazi v kompleksnoj terapii. *SPb., 2003.* 12 s.
4. Soroko S.I., Trubachev V.V. Nejrofiziologicheskie i psihofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya. *SPb.: IEFB RAN.* 2010. 607 s.
5. Poskotinova L.V., Semenov Yu.N. Sposob korrekcii vegetativnyh disbalansov s pomosch'yu kompleksa dlya obrabotki kardiointervalogram i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma "Vari-kard 2.51", rabotayuschego pod upravleniem komp'yuternoj programmy ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), s ispol'zovaniem bio-logicheskoy obratnoj svyazi. *Patent 2317771 RF.* Opubl. 27.02.2008. *Byul.* № 6.
6. Baevskij R.M., Ivanov G.G., Ryabykina G.V. Sovremennoe sostoyanie issledovanij po variabel'nosti serdechnogo ritma v Rossii. *Vestnik aritmologii.* 1999; 14: 71-75.
7. Dawson M.E., Schell A.M., Filton D.L. The electrodermal system. In: Cacioppo J.T. (Eds.). *Handbook of Psychophysiology. Cambridge University Press.* 2000. R. 200-223.
8. Zhirmunskaya E.A., Losev V.S. Sistemy opisaniya i klassifikacija 'elektro'encefalogramm cheloveka. *M.: Nauka.* 1984. 81 s.
9. Ravich-Scherbo I.V., Maryutina T.M., Grigorenko E.L. Psihogenetika. *M.: Aspekt Press.* 2000. 447 s.
10. Gubachev Yu.M., Dornichev V.M., Kovalev O.A. Psihogennye rasstrojstva krovoobrascheniya. *SPb.: Pol itehnika.* 1993. 238 s.
11. Edelberg R. The information content of the recovery limb of the electrodermal response. *Psychophysiology.* 1970. 6: 527-539.

Работа выполнена при поддержке гранта Уральского отделения РАН № 12-У-4-1019.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Дёмин Денис Борисович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии ФГБУН Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения Российской академии наук
Адрес: 163000, Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249
Тел. / факс: (8182) 65-29-92
E-mail: denisdemin@mail.ru