

Характер перестроек статистической структуры взаимодействия волновых компонентов электроэнцефалограммы в процессе биоуправления

Святогор И.А., Моховикова И.А.

Character of reorganizations of statistical structure of EEG components interactions in the course of biofeedback

Svyatogor I.A., Mohovikova I.A.

Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург

© Святогор И.А., Моховикова И.А.

Впервые в режиме адаптивного биоуправления у лиц с тревожно-фобическими расстройствами изучена структура статистического взаимодействия волновых компонентов электроэнцефалограммы, что позволило оценить особенности межцентральных отношений у этой категории пациентов и их перестройки в процессе коррекции психофизиологического состояния.

Ключевые слова: ЭЭГ, биоуправление биопотенциалами мозга, тревожно-фобические расстройства, статистическое взаимодействие волновых компонентов, электроэнцефалография.

The structure of statistical interaction of EEG wave components of persons with disturbing-phobia frustration was investigated in the course of adaptive biofeedback by brain potentials. The features of brain intercentral relations and their reorganisation were estimated in the process of correction of a psychophysiological condition by the biofeedback of brain potentials.

Key words: biofeedback, EEG, disturbing-phobia frustration, interaction of EEG components.

УДК 612.822.3

Введение

Постоянное увеличение стрессовых факторов и ухудшение экологической и социальной обстановки приводят к значительному росту числа дезадаптационных нарушений, к которым относятся и тревожно-фобические расстройства (F40.1, F40.8, F40.9 по Международной классификации болезней 10-го пересмотра). В основе этих нарушений лежат невротические срывы, связанные с «поломкой» в системе адаптивной регуляции функций, что сопровождается значительным повышением возбудимости центральной нервной системы (ЦНС). Исследование физиологических механизмов невротических состояний привело к заключению, что при неврозах не столько нарушается прямая функция нейронов коры, сколько изменяется пространственно-временная организация нервных процессов, формируется несоответствующая действительности комбинация взаимодействия нервных эле-

ментов, которая и нарушает баланс процессов торможения и возбуждения [4]. Это находит свое подтверждение при анализе структуры взаимодействия отдельных компонентов электроэнцефалограммы (ЭЭГ), отражающих характер внутрицентральных взаимоотношений.

Исследования показали, что при возникновении неврозов в конце первой стадии невротического синдрома отмечается разрушение устойчивых связей бета-, тета- и дельта-компонентов с альфа-компонентом, а также взаимосвязи между отдельными альфа-волнами [7]. В результате происходит разрушение «функционального ядра» альфа-ритма, отражающего нормальную структуру паттернов ЭЭГ. При этом формируется структура равновероятного взаимодействия, которая обладает повышенной неустойчивостью к внешним воздействиям [6, 7].

Одними из наиболее распространенных форм неврозов считаются тревожно-фобические расстройства, ко-

торые трудно поддаются медикаментозному лечению. В связи с этим весьма актуальной является разработка немедикаментозных способов коррекции этих заболеваний, одним из которых выступает технология адаптивного биоуправления различными функциями организма [3, 10, 11], в том числе и регулирование биоэлектрической активности (БЭА) мозга (ЭЭГ-БОС).

Цель настоящего исследования — изучение особенностей внутрицентральных взаимоотношений при тревожно-фобических расстройствах, оцененных по характеру электрической активности мозга и их перестроек в процессе управления параметрами ЭЭГ.

В связи с этим формулировались следующие задачи:

1) исследовать особенности временной организации паттернов ЭЭГ по характеру вероятностного взаимодействия дельта-, тета-, альфа- и бета-составляющих у лиц с тревожно-фобическими расстройствами;

2) изучить характер амплитудно-частотных изменений и перестроек статистической структуры взаимодействия основных компонентов ЭЭГ на разных этапах биоуправления.

Материал и методы

Для решения поставленных задач было обследовано 35 пациентов с тревожно-фобическими расстройствами (10 мужчин, 25 женщин, средний возраст 38 лет), находившихся на лечении в клинике неврозов. Для оценки функционального состояния ЦНС каждому пациенту проводилось ЭЭГ-обследование. Запись ЭЭГ осуществлялась на 21-канальном энцефалографе фирмы «Мицар» (Россия) в состоянии спокойного бодрствования и при воздействии ритмической фотостимуляции (РФС). Активные электроды располагались по международной схеме «10—20», в качестве индифферентного электрода использовался усредненный — Av. ЭЭГ оценивались визуально (по классификации И.А. Святогор [5]) и методом определения статистической структуры волнового взаимодействия компонентов ЭЭГ, разработанный С.С. Бекшаевым и С.И. Сороко [9].

Статистическая структура взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ определялась в течение 60 с безартефактной записи в отведении Fz—Oz. Оценивались вероятности перехода одного компонента в другой, на основании чего вычислялись матрицы пере-

ходных вероятностей четырех основных составляющих ЭЭГ (дельта, тета, альфа и бета). Для наглядного представления матриц строились графы, вершинами которых являлись компоненты ЭЭГ, а линии, соединяющие их, указывали, что переход компонентов друг в друга ориентирован слева направо, а толщина линии была пропорциональна соответствующей вероятности от 0,1 до 0,7.

Каждому пациенту проводилось в среднем по 10 сеансов ЭЭГ-БОС. Сеанс состоял из двух циклов фоновых записей в начале и в конце исследования и трех циклов обучения. Биоуправление было направлено на увеличение интенсивности альфа-составляющей с одновременным снижением интенсивностей тета- и бета-компонентов ЭЭГ. Процедура биоуправления сводилась к следующему. БЭА одного биполярного отведения (Fz—Oz) поступала в компьютер, который программно выделял тета-, альфа- и бета-составляющие, подсчитывая отдельно мощность каждой из них, количество полуволн и их среднюю амплитуду. Далее определялись пороговые значения средних амплитуд и осуществлялось формирование обратной связи (ОС). Во всех исследованиях использовалась звуковая (музыкальная) ОС, которая включалась и выключалась в зависимости от процесса регулирования.

У каждого пациента подсчитывался процент успешных циклов регулирования за весь курс по достоверному изменению регулируемых параметров в нужном направлении, на основании чего определялась степень успешности.

Данные обрабатывались статистически с использованием системы анализа данных Statistica (StatSoft, США).

Результаты и обсуждение

По данным ЭЭГ, подавляющее большинство лиц (94%) в той или иной степени характеризовались нарушениями функционального состояния ЦНС с наличием избыточной восходящей активации, что проявлялось в снижении интенсивности альфа-составляющей, увеличении выраженности высокочастотной активности, усилении отчетливости реакции усвоения ритмов фотостимуляции в ЭЭГ.

Временная организация паттернов ЭЭГ в обследованной группе оказалась неоднородной. Так, у 6 (17%) обследованных лиц наибольшую вероятность имели

переходы бета-, альфа-, тета- и дельта-компонентов в альфа-волну, что приводило к образованию четкого

«альфа-ядра» (рис. 1,а).

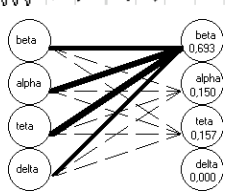
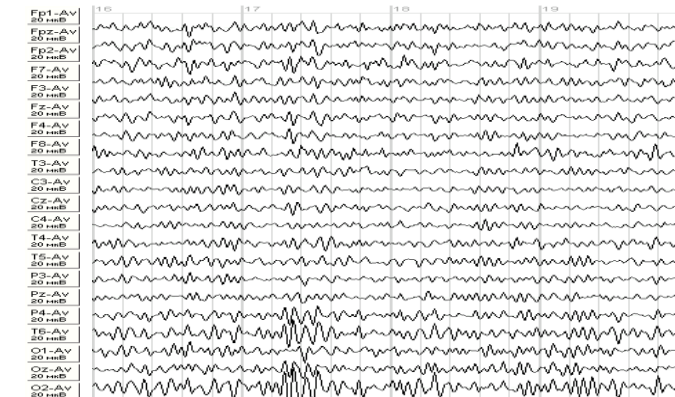
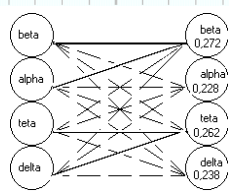
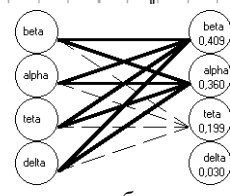
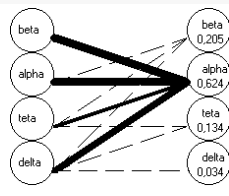


Рис. 1. Типы исходной статистической структуры взаимодействия волновых компонентов (ССВК) ЭЭГ в виде «альфа-ядра» (а), «альфа-бета-ядра» (б), неорганизованной (е), «бета-ядра» (z), отражающих четыре типа нативной ЭЭГ. Статистическая структура ЭЭГ представлена графами вероятностей переходов от одного компонента ЭЭГ к другому (слева направо), толщина линий в графах пропорциональна величинам вероятностей переходов в диапазоне от 0,1 до 0,7. Нативная ЭЭГ 21 отведения (монтажная схема с усредненным электродом — average), калибровка: 10 мм — 100 мкВ (указано под каждым отведением); 30 мм — 1 с (указано цифрами над записью ЭЭГ)

У 7 (20%) человек наибольшую вероятность имели переходы альфа-волны в альфа-волну и тета-волны в бета-волну, т.е. имелось не одно, а два «функциональных ядра». Такая структура взаимодействия составляющих ЭЭГ определялась как «альфа-бета-ядро» (рис. 1,б).

У 7 (20%) пациентов вероятность переходов компонентов друг в друга была практически одинаковой и структура взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ носила неорганизованный или слабоорганизованный характер (рис. 1,е).

У 15 (43%) человек наибольшую вероятность имели переходы альфа-, бета-, тета- и дельта-компонентов в бета-волну, что приводило к образованию четко сформированного «бета-ядра» (рис. 1,з).

Таким образом, в обследованной группе было выявлено четыре типа статистической структуры волнового взаимодействия ЭЭГ: две одноядерные структуры с «альфа-ядром» и «бета-ядром», двухъядерная структура с «альфа-бета-ядром» и «неорганизованная» структура. Выявленные структуры волнового взаимодействия коррелировали с визуальной картиной ЭЭГ. В ряду от «альфа-ядра» к «бета-ядру» закономерно уменьшалось количество альфа-содержащих ЭЭГ: если у пациентов с четко сформированным «функциональным ядром» в диапазоне альфа-ритма в 100% случаев в ЭЭГ доминировал альфа-ритм, у пациентов с «альфа-бета-ядром» он доминировал в 72%, то при неорганизованных структурах волнового взаимодействия он встречался только у 33% пациентов, а при наличии «функционального бета-ядра» — лишь в 14% случаев. Отличия этих подгрупп друг от друга были достоверны при $p < 0,01$.

Оказалось, что нарастание клинической симптоматики приводило сначала к формированию «альфа-бета-ядра», затем к полному «разрушению» ядерной структуры с равновероятностными связями между всеми компонентами и затем к формированию патологической структуры в виде «бета-ядра». Аналогичные данные были получены при усилении невротических симптомов у полярников [6, 7] и при более тяжелых расстройствах, таких как МДП и шизофрения [9].

Наличие «альфа-ядра» отражает хорошо организованную структуру ЭЭГ при наиболее оптимальных корково-подкорковых взаимоотношениях. Состояние повышенной тревоги и психоэмоционального напряжения в течение длительного времени приводило к ослаблению связей в «альфа-ядре» и постепенному формированию двухъядерной «альфа-бета»-структуры, что свидетельствовало о снижении устойчивости нейродинамических процессов. Таким образом, данную структуру, вероятно, можно рассматривать как первый этап на пути разрушения нормального паттерна ЭЭГ в виде выраженного «альфа-ядра» вследствие травмирующих стрессогенных факторов, приводящих к начальной стадии дезадаптационных нарушений.

Снижение вероятности переходов между всеми компонентами ЭЭГ друг в друга приводило к «неор-

ганизованной» структуре и отражало процесс «дезинтеграции» внутрицентрального взаимодействия.

У подавляющего большинства обследованных пациентов (43%) структура волнового взаимодействия характеризовалась выраженным «бета-ядром», что сочеталось и с наибольшей длительностью заболевания, и с наиболее измененной ЭЭГ. Данная структура, как отмечается в литературе [8], является гиперактивной и достаточно устойчивой. Ее можно рассматривать в качестве следующего этапа в последовательности перестроек межцентральных взаимоотношений, лежащих в основе формирования патологических функциональных систем и компенсаторно-приспособительных реакций мозга.

При анализе результатов биоуправления все обследованные пациенты по успешности разделились на две подгруппы: более успешную и менее успешную. В процессе биоуправления потенциалами мозга у всех пациентов с исходной ССВК ЭЭГ в виде «альфа-ядра» каких-либо значительных перестроек в статистической структуре взаимодействия волновых компонентов не происходило (рис. 2), что можно было объяснить устойчивостью данной структуры.

У 86% пациентов с исходной двухъядерной структурой волнового взаимодействия, вошедших в более успешную подгруппу, усиливалась организующая роль альфа-ритма, увеличивалась мощность альфа-составляющей и ослабевало «бета-ядро». Иными словами, исходная структура в виде «альфа-бета-ядра» постепенно возвращалась к оптимальной структуре с «функциональным ядром» в альфа-диапазоне (рис. 3). У 14% пациентов, вошедших в менее успешную подгруппу, значительных перестроек в ССВК не происходило.

У всех пациентов с исходной неорганизованной структурой волнового взаимодействия в процессе ЭЭГ-БОС возрастала вероятность связей четырех составляющих ЭЭГ с альфа-компонентом и увеличивалась мощность альфа-ритма, т.е. также шел процесс формирования «альфа-ядра» (рис. 4).

У пациентов с исходной ССВК в виде «бета-ядра», относящихся к успешной подгруппе, в ходе процесса биоуправления исходное «бета-ядро» постепенно разрушалось и происходило формирование нового «функционального ядра» в альфа-диапазоне, но скорость и глубина этих перестроек у разных пациентов была неодинаковой. У высокоуспешных

пациентов начальный паттерн к середине курса разрушался, связи становились равновероятными, а к концу курса формировалось выраженное «альфа-ядро»

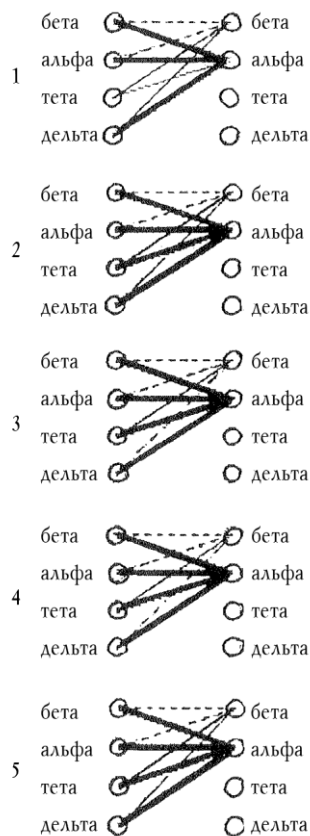


Рис. 2. Отсутствие выраженных перестроек ССВК в процессе биоуправления у пациентки с исходной структурой в виде «альфа-ядра». Сеанс 6. Цифрами обозначены порядковые номера циклов биоуправления

ядро» (рис. 5), что свидетельствовало о нормализации паттерна ЭЭГ.

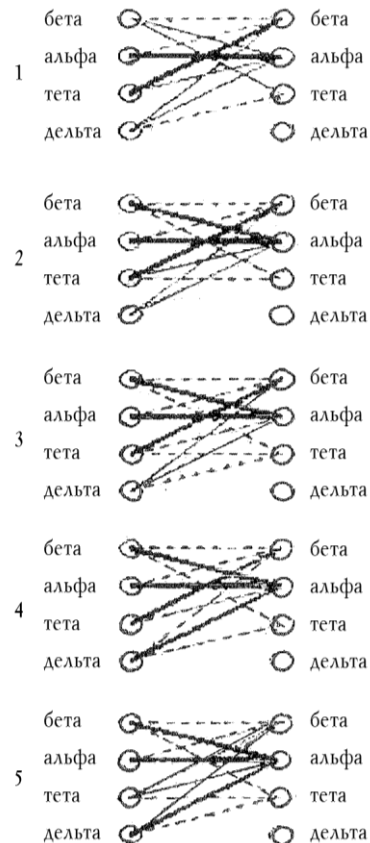


Рис. 3. Характер перестроек ССВК в процессе биоуправления у пациента с исходной структурой в виде «альфа-бета-ядра». Сеанс 6

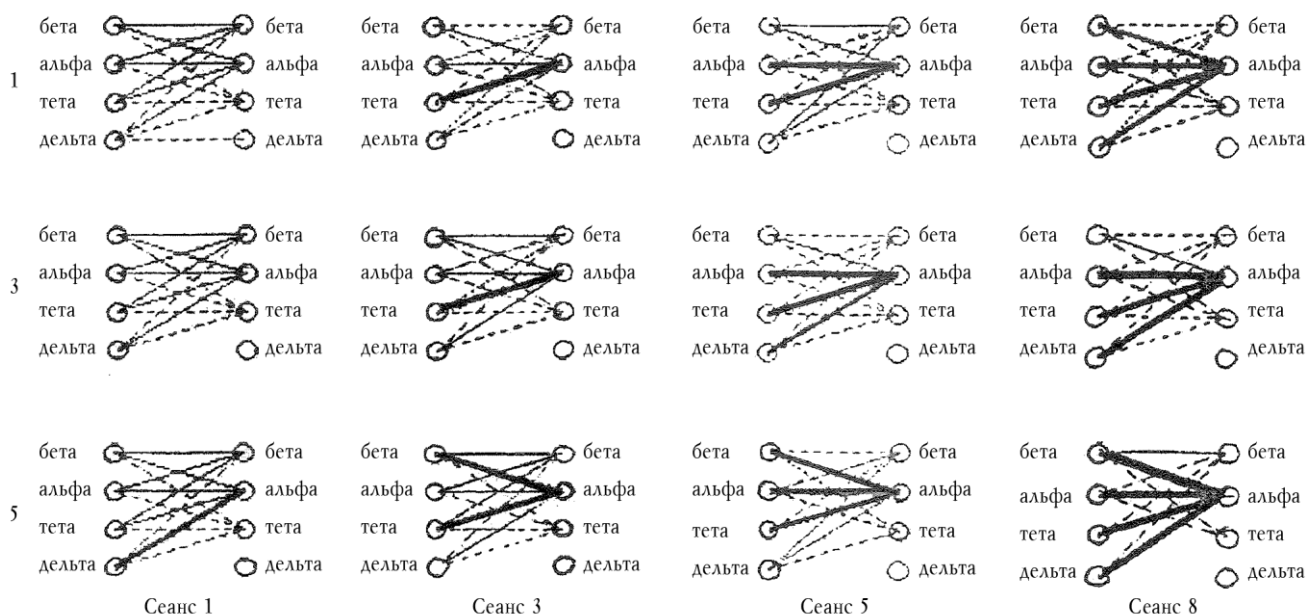


Рис. 4. Характер перестроек ССВК в процессе биоуправления у пациента с исходной неорганизованной структурой

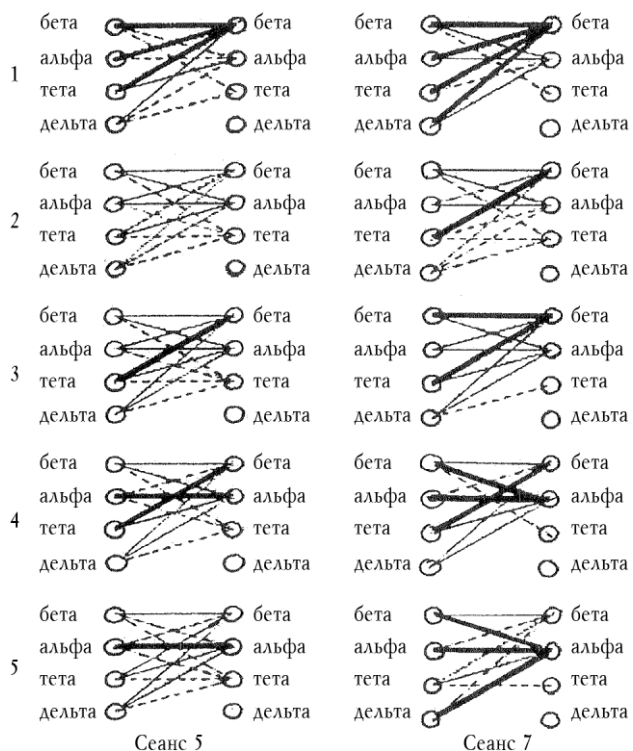


Рис. 5. Характер перестроек ССВК в процессе биоуправления у пациента с исходной структурой в виде «бета-ядра»

Выводы

1. Переход из одного устойчивого (но гиперактивного) состояния в другое, оптимальное, происходил

через стадию дестабилизации, что согласуется и с данными других авторов [1—3, 6]. Тогда как у лиц с «бета-ядром», но относящихся к менее успешной подгруппе, выраженных перестроек в статистической структуре волнового взаимодействия ритмов практически не наблюдалось.

2. Выраженность перестроек в статистической структуре волнового взаимодействия связана как со степенью устойчивости исходной ССВК, так и с успешностью биоуправления. В случае успешной регуляции у пациентов с разными структурами ССВК перестройки частотного спектра ЭЭГ обязательно проис-

ходят через изменение в первую очередь альфа-компонента и связаны с увеличением взаимодействия с ним других составляющих ЭЭГ.

3. Исследование перестроек временной организации паттернов БЭА четко указывает, что биоуправление — это процесс «разрушения» сложившегося «устойчивого патологического состояния» [2] и формирование нового, более оптимального. Длительность курса должна определяться процессом разрушения исходной патологической структуры волнового взаимодействия и образованием и закреплением более оптимальной структуры, связанной с формированием «альфа-ядра».

Литература

1. *Бекшаев С.С., Левина М.Ю., Яковлев Н.М., Ваццлло Е.Г.* Динамика структуры энцефалограммы у больных неврозами в процессе лечения методом энцефалографической биологической обратной связи // *Биоуправление-3: Теория и практика.* Новосибирск, 1998. С. 203—211.
2. *Бехтерева Н.П.* Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1980. 262 с.
3. *Василевский Н.Н.* Экологическая физиология мозга. Л.:

- Медицина, 1979. 200 с.
4. *Купалов П.С.* Механизмы замыкания временной связи в норме и патологии. М., 1978.
 5. *Святогор И.А.* Классификация ЭЭГ-паттернов и их нейрофизиологическая интерпретация при дезадапционных расстройствах // *Биологическая обратная связь.* 2000. Т. 2, № 3. С. 10—19.
 6. *Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А.* Основные типы механизмов саморегуляции мозга. Л.: Наука, 1990. 205 с.
 7. *Сороко С.И.* Нейрофизиологические механизмы индивидуальной адаптации человека в Антарктиде. Л.: Наука, 1984. 152 с.
 8. *Сороко С.И., Сидоренко Г.В.* ЭЭГ-маркеры нервнопсихических нарушений и компьютерная диагностика. Бишкек: Илим, 1993. 170 с.
 9. *Сороко С.И., Суворов Н.Б., Кутуев В.Б., Бекшаев С.С.* Анализ последовательностей периодов ЭЭГ // *Материалы VII Всесоюз. конф. по электрофизиологии ЦНС.* Каунас, 1976. 355.
 10. *Штарк М.Б.* Заметки о биоуправлении (сегодня и немного о завтра) // *Биоуправление-3: Теория и практика.* Новосибирск, 1998. С. 4—13.
 11. *Rosenfeld J.P.* Biofeedback of frontal alpha asymmetry in affective disorders // *Biofeedback and Self-Regulation.* 1997. V. 25, № 1. P. 8—25.

Поступила в редакцию 08.12.2009 г.

Утверждена к печати 22.12.2009 г.

Сведения об авторах

И.А. Святогор — канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории общей физиологии рецепции Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (г. Санкт-Петербург).

И.А. Моховикова — канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории общей физиологии рецепции Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (г. Санкт-Петербург).

Для корреспонденции

Святогор Ирина Александровна, тел.: 8 (812) 656-29-39, e-mail: svyatogor372@mail.ru