

III. МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ БИОУПРАВЛЕНИЕ

Д. П. Аксенов, С. М. Захаров, А. А. Скоморохов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУР БОС-ТРЕНИНГА

Научно-производственная конструкторская фирма «Медиком МТД», Таганрог, Россия

Для выявления общих закономерностей в реакции организма на процедуры биоуправления использовался мультипараметрический мониторинг различных физиологических параметров (ФП). Были проведены процедуры БОС-тренинга по показателям температуры и частоты сердечных сокращений (ЧСС) с одновременной регистрацией электроэнцефалограммы, электрокардиограммы, реоэнцефалограммы, фотоплетизмограммы, данных кожно-гальванической реакции и дыхательного цикла, с помощью реабилитационного психофизиологического комплекса «Реакор» и электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог). В процессе выполнения процедуры производилось сопоставление как управляемых в ходе БОС-процедуры ФП, так и ФП, не связанных с БОС-тренингом, которые регистрировались перед, после и в процессе проведения процедуры. Получены следующие результаты: взаимосвязанные изменения показателей, отражающих деятельность сердечно-сосудистой системы, центральной нервной системы и вегетативной нервной системы; смена активного полушария в ходе температурного и ЧСС БОС-тренинга; формирование значимых отрицательных кросскорреляционных связей между лобными и затылочными долями при температурном БОС-тренинге; существенные изменения спектральных характеристик кардиоинтервалограммы и отношения бета/альфа-ритмов ЭЭГ; изменения ряда других неуправляемых показателей. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что мультипараметрический мониторинг в ходе процедур биоуправления имеет большое значение не только для определения эффективности проводимого тренинга, но и для оценки динамики функционального состояния пациента.

Ключевые слова: *эффективность БОС-тренинга, мультипараметрический мониторинг, ЭЭГ: топографическое картирование, ЭЭГ: кросскорреляционный анализ.*

Введение. В настоящее время при анализе эффективности терапии и реабилитации больных с использованием биологической обратной связи (БОС) обычно используется следующая последовательность действий: определение фоновых значений контролируемого параметра; выполнение процедуры БОС-тренинга, направленной на его стабилизацию или улучшение; получение значения того же параметра после проведения процедуры (курса процедур) для сравнения с исходным значением. Однако используемый подход не способен предоставить данных, на основании которых была бы возможна системная оценка изменения физиологических функций под влиянием БОС-тренинга. Эта оценка может основываться на изменениях различных физиологических показателей (ФП), как связанных, так и не связанных непосредственно с тренируемым параметром (ТП). Физиологическая значимость вариабельности показателей, зависящих от ТП, обусловлена возможностью четкого определения степени этой зависимости, а следовательно, и анализа роли центральной нервной системы и, возможно, других систем организма в регуляции исследуемых функций. К примеру, когда речь идет о показателях кровообращения, между значениями которых обычно имеется стойкая связь – уровень артериального давления (АД) и тонус артерий, ударный объем и

объем циркулирующей крови (ОЦК) – изменение выраженности этой связи позволяет проанализировать то, как на исследуемые показатели влияют иные, самые разнообразные факторы. Особое значение определение зависимости различных ФП от ТП приобретает тогда, когда речь идет о «разрушении» нормальных функциональных механизмов: к примеру, при тенденции к понижению АД на фоне повышения тонуса сосудов, с клинической и физиологической точек зрения, необходим анализ дополнительных параметров организма, например, ОЦК и показателей деятельности сердца. В случае патологического изменения какого-либо из этих дополнительных параметров необходимо анализировать состояние влияющих на него механизмов до выяснения причины изменения упомянутых функциональных связей. Все вышеперечисленное самым непосредственным образом относится к БОС-тренингу, когда, используя мультипараметрический мониторинг для оценки изменения не только ТП, но и дополнительных ФП, исследователь может своевременно заметить существенные сдвиги иных показателей, как зависимых, так и, на первый взгляд, не зависящих от ТП [6, 7]. Кроме этого, нельзя не учитывать важную роль центральной нервной системы (ЦНС) в формировании установки пациента на проведение БОС-процедур и их

эффективность, а также непосредственное влияние состояния нервной системы на функции всех органов и систем. Поэтому представляется целесообразным отслеживание изменения данных функционального состояния ЦНС в связи с проводимым БОС-тренингом как по отношению к отдельной процедуре, так и применительно к курсу процедур БОС-тренинга.

Исходя из вышеизложенного, мы избрали целью работы усовершенствование системы контроля эффективности процедур биоуправления для выявления общих закономерностей в реакции организма на эти процедуры. Задачей исследования являлось проведение анализа изменений физиологических показателей, получаемых при мультипараметрическом мониторинге в процессе выполнения процедур биоуправления.

Мультипараметрический мониторинг при БОС-тренинге. Очевидно, что с расширением области применения биоуправления будет возрастать потребность в высококачественных и содержательных клинических исследованиях. Эта задача решается лишь при использовании инструментальных средств, обеспечивающих проведение мультипараметрического мониторинга с широкими возможностями по совокупной обработке разнотипных физиологических показателей. Реабилитационный комплекс «Реакор» и электроэнцефалограф-анализатор «Энцефалан-131-03», серийно выпускаемые НПКФ «Медиком МТД» (г. Таганрог), использовавшиеся нами в данной работе, имеют различные аппаратные модификации и позволяют заполнить имеющийся недостаток в инструментальных средствах для такого рода исследований и обеспечить полноценный мультипараметрический контроль за изменением психофизиологического состояния пациента в процессе саморегуляции.

Функциональное состояние ЦНС – понятие интегральное. Оно представляет собой результат взаимодействия состояний всех входящих в систему элементов, состояния организма как целого со средой, а также взаимодействия во времени и пространстве всех его элементов между собой [1]. Это обуславливает необходимость как можно более полного контроля функционального состояния нервной системы, а также функций иных органов и систем организма. Данный подход может быть реализован двумя способами. Во-первых, использование регистрации значений дополнительных параметров (не являющихся управляемыми), во-вторых, определение значения управляемого параметра в местах, не являющихся точками его регистрации при БОС-тренинге. В качестве примера можно привести многие исследования, в которых были получены данные, свидетельствующие о достоверном изменении управляемых параметров после проведения БОС-тренинга. Так, отмечалось [4], что при регуляции испытуемым частоты сердечных сокращений за счет особого ритма дыхания, задаваемого синусоидальной кривой, наряду с положительными изменениями регулируемых

параметров наблюдаются улучшения иных показателей, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы. Также большое значение для определения функционального состояния ЦНС и психофизиологического состояния в целом имеет определение индекса тренируемого ритма электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в нетренируемых областях, – это может служить не только индикатором положительных процессов, но и сигнализировать о необходимости изменения тренируемой области. В качестве нетренируемых параметров, помимо электрофизиологических данных, могут выступать и данные обследования пациента без использования инструментальных методов (неврологический, психический статус и т.п.). Достоверность различий между пред- и постпроцедурными значениями в этих случаях, как правило, оценивается с использованием непараметрических методов статистического анализа.

Вышеперечисленные методы контроля являются внепроцедурными, т.е. тренируемые параметры оцениваются до и после проведения процедуры или курса процедур. Перспективной для контроля качества БОС-тренинга в широкой клинической практике является оценка динамики управляемых параметров во время самой процедуры (внутрипроцедурный метод контроля). Данный подход позволяет не только контролировать качество и безопасность при проведении БОС-тренинга (например, при проведении реабилитационных процедур у постинфарктных и постинсультных больных), но и осуществлять дополнительный анализ физиологических показателей с диагностическими и научными целями. В литературе встречаются упоминания об этом виде контроля эффективности БОС-тренинга, так, описываются результаты обработки ЭЭГ при ее регистрации у пациентки во время температурного БОС-тренинга [5]. Важной, в смысле соотнесения полученных в процессе БОС-тренинга результатов с ожидаемыми, является интегральная оценка динамики показателей, регистрируемых в ходе курса процедур.

Приведенные данные позволяют использовать формальную систему оценки регистрируемых параметров с целью упорядочивания подхода к организации контроля эффективности БОС-тренинга. Так, регистрируемые параметры при БОС-тренинге можно подразделить, во-первых, на управляемые и неуправляемые в ходе БОС-процедуры, во-вторых, в зависимости от времени проведения контроля по отношению к процедуре БОС-тренинга на пред-, пост- и внутрипроцедурные, а интегральную оценку динамики контролируемых показателей рассматривать, учитывая изменения управляемых и неуправляемых параметров и их взаимосвязи.

Используя этот подход к организации мультипараметрического мониторинга при выполнении различных процедур БОС-тренинга, была проведена экспериментальная оценка применимости мультипараметрического контроля и интерпретации полученных результатов на основании ряда одновременно регистрируемых физиологических

сигналов. Регистрировались следующие показатели: одно стандартное отведение электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограмма по 8-ми отведениям, реоэнцефалограмма (РЭГ) по двум отведениям, пальцевая фотоплетизмограмма (ФПГ), уровень постоянных потенциалов головного мозга по 8-ми отведениям, пневмограмма (ПГ) и кожно-гальваническая реакция (КГР).

Результаты мультипараметрического мониторинга при БОС-тренинге по изменению ЧСС. На рис. 1 представлена динамика трендов ЧСС, амплитуды систолической волны пальцевой ФПГ (АСВ ФПГ), времени распространения пульсовой волны (ВРПВ ФПГ), альфа-индекса ЭЭГ-отведения О1, коэффициента асимметрии по альфа-индексу ЭЭГ, реографического индекса по РЭГ и отношения индекса дыхательных волн кардиоинтервалограммы к индексу медленных волн первого порядка (HF/LF). Испытуемый получил инструкцию на повышение ЧСС, динамику которой он контролировал по изменению параметров зрительных и звуковых образов БОС-тренинга. Выполнение задания на повышение ЧСС (ЧСС изменялась от 70 до 110 уд/мин) сопровождалось:

- резким снижением АСВ ФПГ (в 4 раза), что означает существенное повышение тонуса резистивных сосудов;
- резким снижением ВРПВ ФПГ (почти на 40 мс), что означает существенное повышение тонуса магистральных сосудов;
- резким снижением альфа-индекса ЭЭГ (с 60-70% до 5-15%), что означает активацию головного мозга, проявляющуюся в десинхронизации ЭЭГ. Отношение бета-индекса к альфа-индексу увеличивается почти в 35 раз;
- резким повышением дисперсии коэффициента асимметрии, причем при усилившейся тенденции к левополушарной активации возникали моменты смены активного полушария (активация преимущественно правого полушария), в то время как коэффициент асимметрии на фоновом этапе («Отдых1») отражал преимущественно левополушарную активацию, которая была достаточно стабильна;
- существенным снижением пульсового кровенаполнения (РИ РЭГ уменьшался от 0,178 Ом до 0,127 Ом), особенно заметное снижение наблюдалось через полторы минуты после начала повышения ЧСС;
- резким снижением HF/LF (примерно в 10 раз), что свидетельствует о перераспределении баланса ВНС в сторону симпатического отдела.

Полученные результаты можно интерпретировать как активацию общего тонуса симпатической нервной системы, достигнутую в ходе БОС-тренинга. Это хорошо подтверждают данные состояния сосудистого тонуса и биоэлектрической активности головного мозга (десинхронизация ЭЭГ). Сразу хочется обратить внимание на изменения активности полушарий головного мозга. С нашей точки зрения это имеет очень большое значение для эффективного выполнения процедуры БОС-тренинга.

На рис. 2 показаны гистограммы распределения тех же самых физиологических показателей, хорошо заметны взаимосогласованные изменения по всем системам организма.

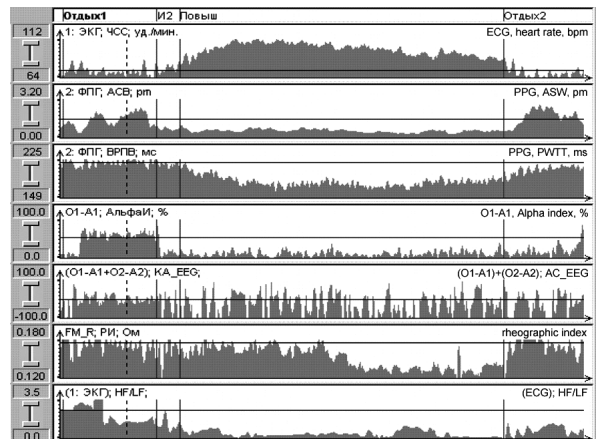


Рис. 1. Тренды физиологических показателей при повышении ЧСС.

Fig. 1. Trends of the body variables during the heart-rate raising. PPG, ASW – photoplethysmogram, amplitude of systolic wave, PPG, PWTT – pulse wave time transition, AC-EEG – EEG alpha-index, asymmetry coefficient.

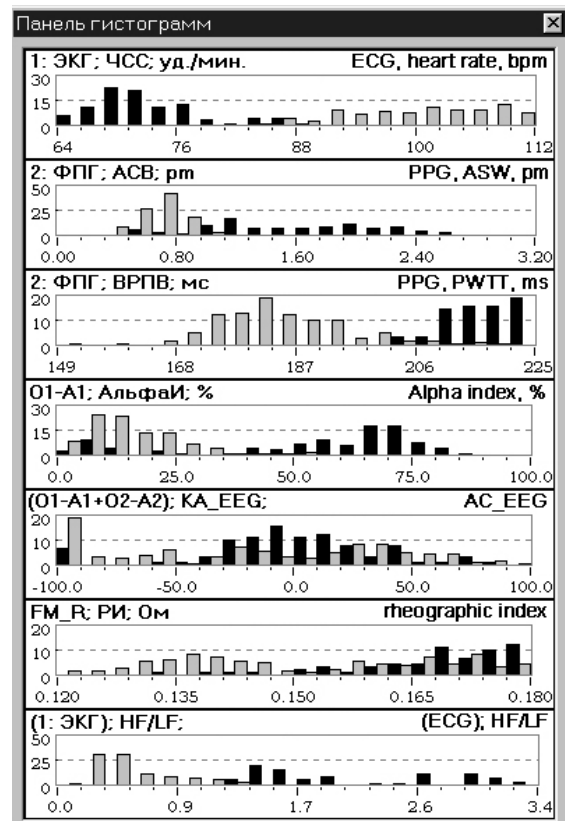


Рис. 2. Сопоставление гистограмм контролируемых физиологических показателей в исходном состоянии (черный цвет) и на этапе БОС-тренинга (серый цвет).

Fig. 2. Bar-graph comparison of biofeedback-controlled body variables before (black bars) and during (grey bars) biofeedback training. For abbreviations see Fig.1.

Результаты мультипараметрического мониторинга при БОС-тренинге на повышение температуры. Приведем данные мультипараметрического мониторинга показателей здорового пациента во время температурного БОС-тренинга,

когда пациенту удалось повысить температуру более чем на 1,5 °C – с 29,05 до 30,73 °C (рис. 3). Процедура состояла из начального фоновой этапа, в рамках которого БОС-тренинг не проводился, и нескольких этапов тренировок, чередующихся с отдыхом.

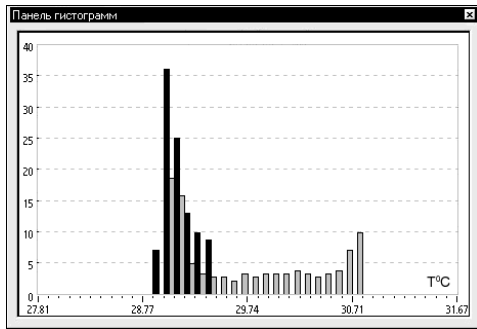


Рис. 3. Динамика изменения температуры при БОС-тренинге. Гистограммы распределения значений температуры, черный цвет – фон, серый цвет – этап тренировки по повышению температуры.

Fig. 3. Temperature changes during the biofeedback training. Bar graphs of temperature distribution during the background recording (black bars) and temperature elevation training (grey bars) stages.

наблюдалось повышение частоты сердечных сокращений (ЧСС) (от 76 до 83 уд/мин), некоторое увеличение глубины дыхания, повышение индекса альфа-ритма в теменных областях слева (с 47% до 63,4%) и незначительное снижение справа (с 63,7% до 60,7%). Остальные показатели не претерпевают существенных изменений.

На втором этапе тренинга, когда температура уже начала повышаться, наблюдались следующие изменения неуправляемых параметров: ЧСС составила 80 ударов в минуту, амплитуда систолической волны (АСВ ФПГ) повысилась с 1,54 до 2,65 промилле (pm) (тонус резистивных сосудов снизился), реографический индекс по РЭГ слева несколько вырос, но не очень существенно (с 0,147 до 0,153 Ом), альфа-ритм стабилизировался на более высоких значениях по амплитуде (рис. 4).

Следует отметить, что изменения в абсолютной мощности альфа-активности были существенно выше, чем в относительных индексах. В затылочном отведении средний уровень мощности альфа-ритма увеличился с 28 (фон) до 225 мкВ²/Гц (этап повышения температуры), т.е. в 8 раз. Изменения индекса существенно скромнее, потому что и в исходном состоянии альфа-ритм был доминирующим. На этапе отдыха после тренинга была отмечена значимая тенденция возврата показателей к исходному уровню.

На рис. 5 показана временная динамика трендов некоторых физиологических показателей, характеризующих различные системы организма:

- амплитуда систолической волны пальцевой фотоплетизмограммы – АСВ ФПГ;
- мощность альфа-ритма в левом затылочном отведении – «АльфаМ», O1-A1;
- уровень постоянной составляющей в левом теменном отведении – ПС, P3-O1.

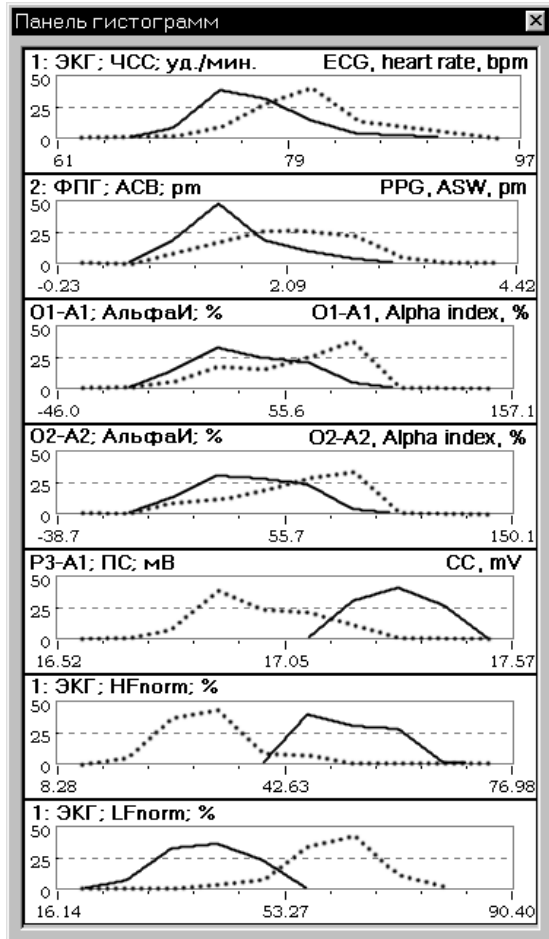


Рис. 4. Сравнение неуправляемых показателей при исходном фоне (сплошная линия) и тренинге на повышение температуры (пунктирная линия).

Fig. 4. Plot comparison of uncontrolled body variables during the background recording (solid line) and biofeedback training (dot line) stages. CC – constant component.

На первой фазе этапа тренинга, когда температура еще не начала значительно повышаться,

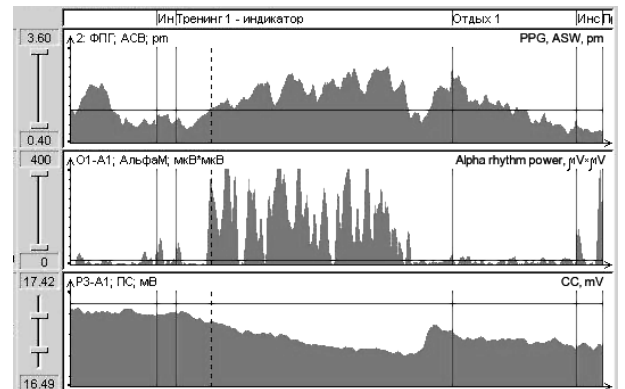


Рис. 5. Динамика трендов физиологических показателей во время проведения БОС-тренинга на повышение температуры. Отражены исходный фон, 1-ый этап тренировки и отдых после тренировки.

Fig. 5. Trends of several body variables during the temperature elevation training. Shown are: Initial background stage, Biofeedback training stage I, and Post-training resting stage I.

Динамика трендов иллюстрирует взаимосогласованное изменение показателей при повышении температуры кисти. Легко заметить, что повышение температуры сопровождается повышением амплитуды систолической волны

пальцевой ФПГ (что вполне очевидно, поскольку повышение температуры и возникает за счет изменения кровотока, тонус сосудов уменьшается), резким повышением мощности альфа-ритма (что дополнительно свидетельствует о повышении релаксации при температурном БОС-тренинге), снижением уровня постоянного потенциала головного мозга (уровень постоянных потенциалов головного мозга часто используют в качестве параметра, отражающего изменение метаболической активности). Видно, что достаточно точно совпадают даже фазы изменения этих показателей.

Учитывая, что на ЭЭГ изменения биоэлектрической активности мозга носят существенный характер, рассмотрим их более подробно.

На рис. 6 показано сравнение мощностных карт в альфа-диапазоне в исходном состоянии (а) и на этапе тренировки на повышение температуры (б). В исходном состоянии наблюдался достаточно невысокий уровень альфа-активности преимущественно в теменных отделах правого полушария.

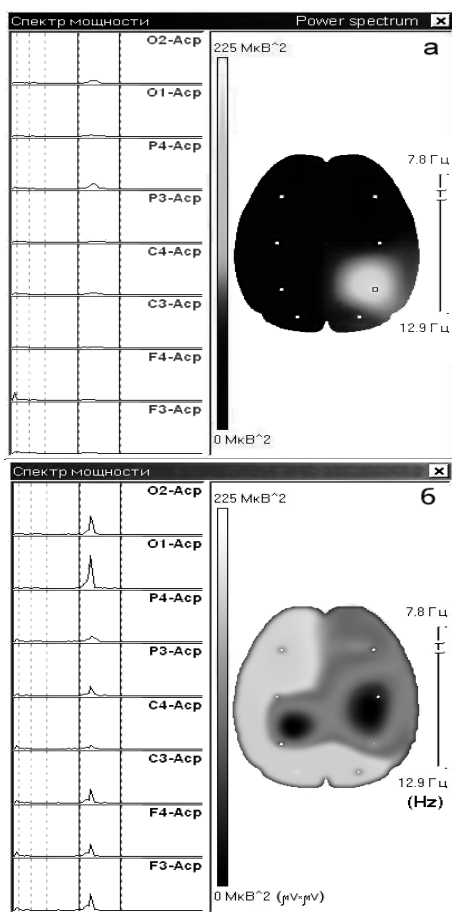


Рис. 6. Топографическая карта альфа-ритма при исходном фоне (а) и на этапе БОС-тренинга по повышению температуры (б).

Fig. 6. Maps of alpha-rhythm power during (a) initial background stage, and (b) temperature elevation training stage.

В процессе БОС-тренинга на повышение температуры наблюдалось резкое увеличение амплитуды и выраженности альфа-активности. Повышение альфа-активности касалось всех отделов

мозга (особенно левого полушария), за исключением центральных областей правого полушария.

Изменения биоэлектрической активности мозга достаточно хорошо иллюстрирует кросскорреляционный анализ, который позволяет количественно оценить степень сходства процессов, происходящих в двух точках мозга, или их связи.

Функция кросс-корреляции отображалась относительно значений степени связи, т.е. на рисунке представлена только очень тесная связь (от 0,9 до 1).

На этапе исходного фона (рис. 7а) можно видеть четкие положительные связи, равные: F3-C3 – 0,99; F3-P3 – 0,97; F3-P4 – 0,9; F4-C4 – 0,96; F4-C3 – 0,93; C3-P3 – 0,98; C3-C4 – 0,97; C3-P4 – 0,95; C4-P4 – 0,99; C4-O2 – 0,98; C4-P3 – 0,93; P3-O1 – 0,98; P3-P4 – 0,93; P3-O2 – 0,92; P4-O2 – 1.

Характерна многочисленность значимых связей между соседними отведениями, причем коэффициент значимости сходства связей между лобными и затылочными областями меньше 0,9.

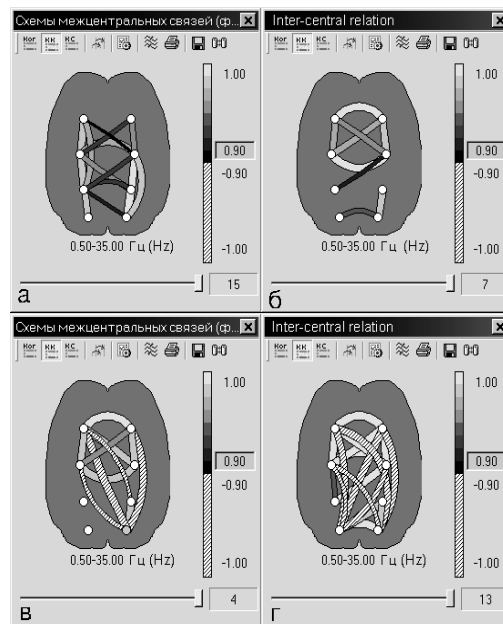


Рис. 7. Схемы межцентральных связей на этапе исходного фона (а), на первом (б), втором (в) и третьем этапе тренинга (г). Связи с отрицательными коэффициентами кросс-корреляции выделены пунктиром.

Fig. 7. Schemes of inter-focal correlations during (a) initial background stage, (б) biofeedback stage I, (в) biofeedback stage II, and (г) biofeedback stage III of temperature elevation training. Hatched links show negative cross-correlations.

На первом этапе тренинга (когда еще не было значимого повышения температуры) коэффициент кросс-корреляции межцентральных связей имел следующие значения (рис. 7б): F3-F4 – 1; F3-C3 – 0,97; F3-C4 – 0,96; F4-C4 – 0,98; F4-C3 – 0,97; C3-C4 – 0,99; C4-P3 – 0,92; P4-O2 – 0,98; O1-O2 – 0,94. Связи между передними и задними областями «разрываются», а между передними отведениями, наоборот, становятся более устойчивыми, однако часть межполушарных связей остается прежней.

На втором этапе тренинга (при повышении температуры) коэффициент кросс-корреляции межцентральных связей имел следующие значения

(рис. 7в): F3-F4 – 1; F3-C3 – 0,98; F3-C4 – 0,99; F3-P4 – (-0,92); F3-O2 – (-0,98); F4-C3 – 0,96; F4-C4 – 0,98; F4-O2 – (-0,98); C3-C4 – 0,99; C3-O2 – (-0,93); P4-O2 – 0,99. Устанавливаются связи между лобными и затылочными отведениями, имеющие отрицательные значения. При этом альфа-ритм был распределен, как показано на рис. 6б.

На третьем этапе тренинга (при достижении температурной кривой предельного уровня на фоне продолжения попыток повлиять на этот показатель) коэффициент кросскорреляции межцентральных связей имел следующие значения (рис. 7г): F3-F4 – 1; F3-C3 – 0,99; F3-C4 – 0,99; F3-O1 – (-0,97); F3-O2 – (-0,98); F4-C3 – 0,99; F4-C4 – 0,99; F4-O1 – (-0,98); F4-O2 – (-0,98); C3-C4 – 1; C3-C4 – 0,94; C3-O1 – (-0,93); C3-O2 – (-0,94); C4-P3 – 0,99; C4-O1 – (-0,96); P4-O1 – 0,99; P4-O2 – 0,98; O1-O2 – 0,99. Отрицательные связи между затылочными и лобными областями достигают максимума своей выраженности – «присоединяется» левая затылочная область.

Полученные данные можно обобщить следующим образом:

1. Общий уровень мощности альфа-ритма при успешном повышении температуры возрастает.

2. В процессе тренинга доминирующим оказывается правое полушарие.

3. В исходном состоянии преобладали короткие и средние внутрислоушарные и межполушарные связи с положительным коэффициентом кросскорреляции, а по мере успешного выполнения задания по повышению температуры наблюдалась существенная перестройка внутрислоушарных и межполушарных связей:

а) значимость коротких связей в задних отделах мозга уменьшалась, а в передних отделах мозга возрастала;

б) постепенно формировались значимые устойчивые длинные лобно-затылочные связи с отрицательными значениями коэффициента кросскорреляции (на рисунках эти связи закрашены штриховкой), – это указывает на то, что волны в затылочных отведениях находятся в противофазе волнам в лобных отведениях.

Попытаемся теперь интерпретировать полученные результаты. Доминирование правого полушария в процессе тренинга, по-видимому, связано с преобладанием образного мышления и использованием эмоциональной компоненты, – именно эти функции относятся к числу «правополушарных». Действительно, для достижения значимых результатов при температурном тренинге важно наиболее ярко представить себе внешнюю обстановку и внутреннее состояние, которые в реальных условиях способствуют повышению температуры. Интересно, что на описываемом примере полученные результаты наиболее показательны, так как для проведения исследования нами был взят пациент с изначальным преобладанием активации левого полушария. Таким образом, наши данные не противоречат распространенной гипотезе о существовании

специализированно-динамической организации работы мозга [2].

Формирование устойчивых лобно-затылочных связей, по нашему мнению, зависит от условий проведения БОС-тренинга, а именно от того, с какими индикаторами температуры работает пациент. В рассмотренном случае наиболее важные функции выполнял графический индикатор, что предполагает активное задействование затылочных отделов головного мозга (коркового отдела зрительного анализатора). Таким образом, между затылочными и лобными долями, контролирующими мотивацию поведения и имеющими обширные двусторонние связи с гипоталамусом [3], должны установиться временные связи, несущие информацию о получаемых изображениях, с тем, чтобы было возможно пытаться «управлять» показаниями индикатора. Это также объясняет наличие фазового сдвига биоэлектрической активности в затылочных и лобных областях, связанного со временем, которое необходимо импульсу на то, чтобы пройти от затылочных до лобных областей. Можно приблизительно подсчитать скорость, с которой сигналы передаются от затылочных к лобным областям, используя сформированные ассоциативные связи. Данная скорость будет равна отношению расстояния от лобной до затылочной доли к половине периода тех колебаний, которые в основном и определяют выраженность кросс-корреляции. Отставание более чем на полфазы представляется нам маловероятным, в связи с отсутствием отрицательных связей между затылочными и иными (не лобными) отведениями. В нашем случае скорость составила приблизительно 2 м/с. Мы не пытаемся утверждать, что данное значение строго адекватно характеристикам нервных волокон, принимающих участие в формировании ассоциативных связей, напротив, по нашему мнению, этот показатель отражает общую скорость передачи возбуждения, включающую в себя как абсолютное значение скорости передачи нервным волокном, так и время возможной межнейрональной задержки возбуждения. К тому же встречались работы [7, 8], в которых было показано усиление взаимоотношений лобно-затылочных отделов в ходе различной творческой деятельности. Эти данные также могут подтвердить теорию временного возникновения ассоциативных лобно-затылочных связей при определенной умственной нагрузке.

Большое значение имеет оценка курсовой эффективности, которая может быть проведена как на основе клинических данных и субъективных ощущений пациента, так и на основе инструментальных методов исследования. Устойчивая нормализация регуляторных процессов может находить свое подтверждение в результатах электрофизиологических методов исследования (ЭЭГ, РЭГ, анализ сердечного ритма и прочее). В качестве примера использования мультипараметрического мониторинга для определения эффективности курса процедур приведем другой пример температурного БОС-тренинга, когда на начальном этапе (рис. 8а)

возможности пациента по контролю своей температуры были ограничены.

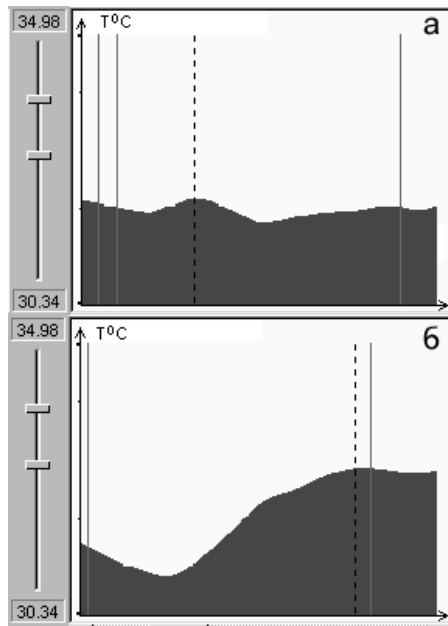


Рис. 8. Изменение температуры на начальном этапе (а) и после 10 сеансов (б) температурного БОС-тренинга.

Fig. 8. Temperature changes (a) in the first temperature biofeedback session, and (b) after a course of 10 biofeedback sessions (aimed at voluntary temperature elevation).

После проведения курса процедур (10 сеансов) пациент достаточно хорошо (на 1,8 °С) научился контролировать свою температуру, используя метод релаксации (рис. 8б). Были отмечены следующие изменения на ЭЭГ: увеличение индекса мощности альфа-ритма в обоих полушариях на итоговом фоне десятой процедуры (рис. 9б) по сравнению с исходным фоном первой процедуры (рис. 9а).

Кроме повышения амплитуды альфа-активности, наблюдалась нормализация зональных различий её распределения – если в начале курса альфа-активность была выражена преимущественно в центральных областях, то по завершению курса альфа-ритм стал существенно более выражен в теменно-затылочных областях мозга, что является положительным фактором.

На РЭГ уменьшились проявления нестабильности пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов, а анализ кардиореспираторных показателей позволил отметить перераспределение активности вегетативной нервной системы в сторону парасимпатического отдела.

Таким образом, мультипараметрический мониторинг подтверждает высокую эффективность проведенного курса. Периодически проводимые исследования позволят оценить долговременность достигнутых результатов.

Заклучение. Мультипараметрический мониторинг как управляемых, так и неуправляемых параметров при БОС-тренинге играет существенную роль в контроле эффективности проводимого тренинга, может служить средством для объективной оценки изменения психофизиологического состояния пациента в процессе проведения процедуры биоуправления и использоваться при проведении исследований, направленных на разработку новых БОС-процедур. На наш взгляд, мультипараметрический мониторинг имеет смысл широко использовать в клинической практике при реабилитационных процедурах БОС-тренинга, например, в постинсультном, постинфарктном периодах, при лечении эпилепсии и ряда других неврологических, сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также при исследованиях и практической деятельности в области физиологии высшей нервной и психической деятельности, посвященных изучению и развитию резервных возможностей организма и повышению способности к адаптации в экстремальных ситуациях. Хочется надеяться, что описанные инструментальные возможности реабилитационного комплекса «Реакор» и электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» в этом плане будут востребованы широким кругом специалистов, занимающихся проблемами БОС-тренинга и оценки его эффективности.

Литература.

1. Нейрофизиологические механизмы в экспертизе трудоспособности. Под ред. Зимкиной А. М., Климовой-Черкасовой В. И. Л.: Медицина. 1978. - С. 280.

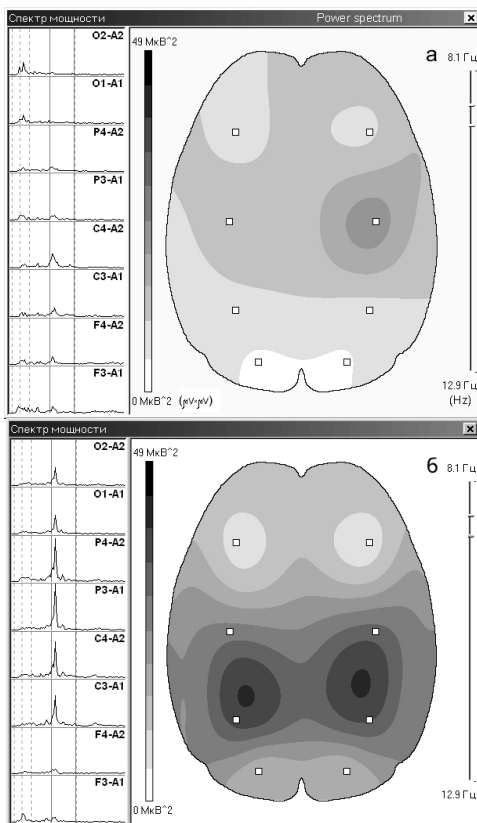


Рис. 9. Топографическая карта альфа-ритма при исходном фоне первой процедуры (а) и при итоговом фоне десятой процедуры (б).

Fig. 9. Topographic maps of alpha-rhythm power (a) at the initial background stage of the first biofeedback session, and (b) at the final background stage of the last session (in a course of 10 biofeedback sessions aimed at voluntary temperature elevation).

2. Овчинников Н.Д. Исследование изменений межполушарной функциональной асимметрии мозга и показателей профессиональной надежности операторов в процессе труда высокой нервно-эмоциональной напряженности// Физиология человека. 24. 2. - С.74-79.
3. Ониани Т. Н. Интегративные функции лимбической системы// Частная физиология нервной системы. Л.: «Наука». 1983. - С. 412-449.
4. Суворов Н. Б., Меницкий Д. Н., Фролова Н. Л. Знакопеременный кардиотренинг: практика применения// Биоуправление-3. Теория и практика. Новосибирск: 1998. - С. 69-79.
5. Финкельберг А. Л., Штарк М. Б. О топографическом картировании и полушарных особенностях электрической активности мозга в процессе температурного БОС-тренинга// Биоуправление-2. Теория и практика. Новосибирск. 1993. - С. 87-90.
6. Шварц М. С. Современные проблемы биоуправления// Биоуправление-3. Теория и практика. Новосибирск. 1998. - С. 15-24.
7. Штарк М. Б. Заметки о биоуправлении (сегодня и немного о завтра)// Биоуправление-3: Теория и практика. Новосибирск. 1998. - С. 5-13.
8. Petsche H. Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis// Int. J. Psychophysiol. 1996. 24. 1-2. - P. 145-159.

THE USE OF MULTI-PARAMETRIC MONITORING FOR BIOFEEDBACK EFFICIENCY CONTROL

D. P. Aksyonov, S. M. Zakharov, A. A. Skomorohov

Medicom-MTD, Ltd. - Development-and-Production Co, Taganrog, Russia

Key words: *biofeedback efficiency, multi-parametric monitoring, EEG: mapping, EEG: cross-correlation analysis.*

To reveal regular trends in the physiological responses to different biofeedback procedures, we have applied multi-parametric monitoring of a set of body variables (BVs). A group of healthy patients took part in the heart rate and temperature biofeedback sessions with simultaneous recording of electroencephalogram, electrocardiogram, rheoencephalogram, photoplethysmogram, skin galvanic response and respiratory data. For recording of the body signals, we have used a rehabilitative biofeedback system Rehacor and an electroencephalograph-analyzer Encephalan-131-03 (produced by Medicom-MTD, Ltd., Taganrog, Russia). During the research, the comparisons were made both between biofeedback-controlled BVs and uncontrolled BVs that were recorded before, during, and after a biofeedback session. The following findings were obtained: 1) correlated changes in variables pertaining to the activity of cardio-vascular system, central nervous system and autonomic nervous system; 2) change of dominant hemisphere both during the heart-rate biofeedback and during the temperature biofeedback; 3) formation of cross-correlations between the forehead and occipital lobes during the temperature biofeedback; 4) significant changes in spectral characteristics of cardiointervalogram and in EEG beta-to-alpha ratios; 5) changes in other uncontrolled variables. The analysis of these findings allowed to conclude that multi-parametric monitoring may play a significant role not only for the evaluation of biofeedback session efficiency but also for the estimation of a patient's functional state.
