

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕАБИЛИТАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ

А.В. Адамчук, А.А. Скоморохов

Постоянно расширяющееся и все более глубокое проникновение идей и методов биоуправления в различные сферы клинической практики, профилактики заболеваний, реабилитации и восстановления нарушенных функций, а также необходимость решения задач, связанных с совершенствованием психофизиологических возможностей спортсменов и лиц ответственных профессий, требует создания соответствующих технических средств. Одним из важнейших требований, которым они должны отвечать, является возможность обеспечения высокой привлекательности процедур биоуправления для самых разных категорий потенциальных пользователей. Это особенно актуально, когда у субъекта еще отсутствуют явные клинические проявления патологии, но уже выявляются функциональные отклонения от условной индивидуальной нормы. Разумеется, средства для проведения процедур саморегуляции должны быть адекватны специфике функциональных отклонений возможно большего количества конкретных людей. Определенную помощь в решении отмеченных задач предлагает созданный нами компьютерный комплекс для биоуправления, базирующийся на совместном использовании принципов биологической обратной связи и теории функциональных систем П.К. Анохина.

С точки зрения теории функциональных систем П.К. Анохина, деятельность живого организма обеспечивается иерархическими функциональными системами (ФС) с целью получения полезного для него результата. Поэтому применение методов биоуправления в реабилитации явно нарушенных функций, когда контролируемый параметр непосредственно связан с полезным для организма результатом, базируется на уже сформированной функциональной системе, в которую дополнительно

привносится еще один усиливающий контур обратной афферентации на сознательном уровне. На стадии, когда еще нет клинических проявлений заболевания и сопутствующих ему беспокоящих симптомов, но резервы организма сдвинуты в сторону истощения (т.н. донозологическое состояние, предболезнь), отсутствуют условия для возникновения ФС, корректирующей функционирование организма на поведенческом уровне. И только тогда, когда функциональные отклонения перерастают в патологию и, тем самым, препятствуют или ощутимо затрудняют удовлетворение доминирующих потребностей различного уровня, формируется ФС, направленная на преодоление патологии — изменение образа жизни, самолечение, обращение к врачу и т.д.

Одним из возможных подходов к разрешению противоречия в рамках этого общего положения представляется совместное применение принципов биоуправления и теории ФС. Суть этой интеграции заключается в том, что в одну из имеющихся у субъекта ФС высокого уровня, актуализированную на некотором интервале времени, искусственно вовлекается дополнительная ФС более низкого уровня, включающая проблемную систему организма, например, систему регуляции дыхания, позы, артериального давления, нейрофизиологических компонентов поведения (дефицит внимания, гиперактивность, пристрастия и т.д.). При этом результат функционирования «большой» ФС зависит от уровня функционирования и взаимоотношения входящих в нее элементарных ФС различного уровня, и, в тоже время, функционирование каждого элемента системы оказывается подчиненным достижению результата «большой» ФС. Поэтому, если наличный уровень функционирования проблемной ФС не

обеспечивает достижения цели «большой» ФС, то начинается поисковая активность, направленная на получение требуемого результата в новых условиях. Естественно, этот процесс должен быть организован так, чтобы достижение глобальной цели обеспечивалось только при изменении уровня функционирования проблемной системы в требуемом направлении.

Практическая реализация предлагаемого подхода заключается во введении в целесообразную деятельность субъекта некоторого дополнительного элемента, затрудняющего удовлетворение его актуальной потребности и получение полезного результата, по критериям «большой» ФС. Степень затруднения деятельности при этом ставится в зависимость от степени отклонения некоторой контролируемой функции организма от желаемого индивидуального уровня. Таким образом осуществляется лишь частичная модификация естественной ФС с сохранением всех ее ранее сформированных компонентов: афферентного синтеза, мотивации, акцептора результата и т.п.; а корригируемая функция оказывается непосредственно связанной с теперь уже вдвойне полезным для пациента результатом действия.

Одним из важных практических результатов такого подхода является то, что степень осознания процесса биоуправления, уровень интеллекта, воля и, по-видимому, другие высшие психические функции пациента, значимость которых отмечается многими авторами, перестают играть ограничивающую роль в сфере использования метода биоуправления, и это существенно расширяет спектр поддающихся коррекции патологий и возрастной диапазон пациентов.

Принципиально внедрение дополнительного элемента может быть осуществлено в любую ФС, однако

требования эффективности практической реализации обуславливают необходимость выполнения критериев универсальности и простоты. Критерию универсальности, безусловно, отвечают те ФС, которые удовлетворяют естественные базовые потребности организма (пища, воздух, комфортность среды обитания, секс, отдых, безопасность и т.п.), и, с некоторыми оговорками, те ФС, которые удовлетворяют социальные потребности (достижение поставленной цели, эстетические, информационные и т.п.). Первые являются наиболее мощными, способными вовлечь в себя и перестроить функционирование практически любой системы организма, в том числе и психики, даже при отсутствии требуемой или наличии противоположной мотивации. Удовлетворение второй группы потребностей организационно и технически проще реализовать, но они менее универсальны и требуют учета индивидуальных особенностей пациента, в частности, его мотивационной сферы. Например, расширяющееся применение игрового подхода к построению процедур биоуправления, безусловно, является значительным шагом в направлении повышения их эффективности и субъективной привлекательности. Однако известно, что пациенты с дефицитом внимания (около 10% населения) и формирующимися психопатоподобными чертами личности не способны концентрировать внимание для поддержания игровой активности необходимое время. Да и не каждому здоровому человеку свойственен игровой темперамент и азарт, тем более это относится к потенциальным пациентам, у которых зачастую, независимо от специфики патологии, деформируется психическая сфера в направлении, не способствующем повышению привлекательности игры (низкая самооценка, снижение волевых качеств, установка на получение помощи извне, тревога, депрессия). Кроме того, любая активность, в том числе и игровая, сопровождается нарастанием напряженности и активизирует эрготропные процессы, объективно сужающие диапазон целенаправленных перестроек контролируемой системы организма.

Поэтому, наряду с игровым подходом, одним из принципов, положен-



Рис. 1. Общий вид комплекса «Реакор».

ных нами в основу создания психофизиологического реабилитационного комплекса для БОС-тренинга «РЕАКОР» (рис. 1), является обеспечение возможности поэтапного переобучения проблемной системы организма. При этом на первом этапе пациент овладевает навыками управления тем или иным параметром (или их произвольной совокупностью) в состоянии релаксации, что, как известно, способствует перераспределению вегетативного баланса в сторону усиления трофотропных процессов, на фоне которых адаптационные перестройки протекают более эффективно. И только после этого углубление и закрепление нового стереотипа осуществляется в условиях, в том числе игровых, с использованием неприятных акустических раздражителей и умеренной

болевой электростимуляции, провоцирующих нарастание психоэмоционального напряжения.

Процедуры первого этапа базируются на удовлетворении эстетической потребности, например, при просмотре на экране монитора репродукций картин, фотографий, фильмов, прослушивании музыкальных произведений, выбранных с учетом предпочтений пациента и цели проводимой тренировки. В начале процедуры

предъявляется фрагмент выбранной аудиовизуальной программы с наилучшим качеством для формирования акцептора результата действия и одновременно оцениваются текущие (фоновые) значения контролируемых параметров. Затем вводятся помехи или искажения, мешающие процессу получения эстетического удовольствия, причем выраженность помех пропорциональна степени отклонения контролируемых параметров от заданных. Цель поисковой деятельности пациента — максимизировать эстетическое удовольствие за счет смещения параметров управляемого физиологического процесса в требуемом направлении.

На рисунке 2 показан один из примеров предъявления сигнала обратной связи в зрительной модальности

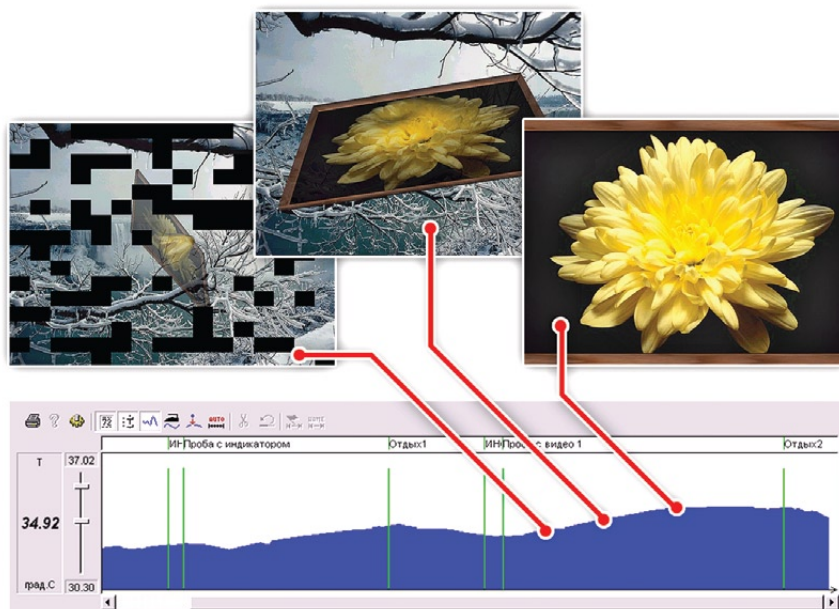


Рис. 2. Один из вариантов изменения параметров изображения при температурном БОС-тренинге.

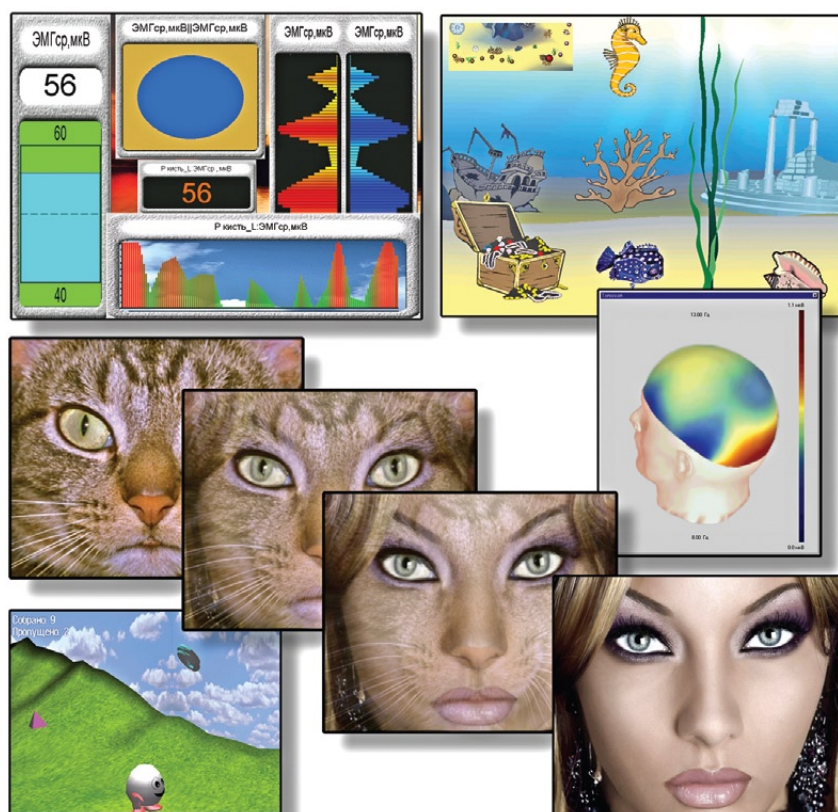


Рис. 3. Примеры образов зрительной модальности.

в виде трансформации некоторых свойств предъявляемого пациенту изображения по мере приближения значений управляемого параметра к заданному порогу. Кроме показанных на рисунке управляемых параметров изображения (плотность мозаики, размер изображения, его пространственная ориентация и интенсивность «дождя»), пациент может управлять, прозрачностью, яркостью и цветом изображения. При этом в качестве управляемого визуального объекта могут использоваться не только одиночные статические изображения, но их тематически подобранные последовательности — видеоряды, а также любые динамические визуальные объекты в форматах, поддерживаемых ОС Windows (мультфильмы, клипы и т.п.). Особый интерес у пациентов вызывает т.н. видеоиндикатор, осуществляющий плавную трансформацию некоторого исходного изображения в заданное конечное. Например, в начале тренировочного этапа пациент видит маленький бутон, который, по мере приближения управляемого параметра к заданному порогу, превращается в красивый цветок (имеются различные вариан-

ты: грустное старческое лицо, превращающееся в веселое и молодое, тигр приближается или удаляется и т.п.). В арсенал визуальных форм отображения входят и традиционные индикаторы, удобные на первых процедурах биоуправления — стрелочные, цифровые, графические, цветовые, объемные. Имеются и игровые формы представления, ориентированные



Рис. 4. Процедура биоуправления с использованием акустического сенсорного кресла (АСК).

на конкретные процедуры (рис. 3). А при проведении процедур по управлению пространственной картиной биоэлектрической активности мозга или мозгового кровообращения высокую наглядность происходящих изменений обеспечивает топографическое картирование выбранных параметров на трехмерной модели головы в реальном масштабе времени. Такое разнообразие визуальных эффектов в сочетании с практически неограниченной и легко расширяемой библиотекой видеообразов позволяет не только учесть индивидуальные предпочтения и вкусы конкретного пациента, но и дополнительно поддерживать мотивацию каждого из них на протяжении всего реабилитационного курса.

В слуховой модальности приближение контролируемого параметра к требуемому значению может сопровождаться уменьшением интенсивности неприятного акустического шума, повышением громкости музыкального или любого другого звукового фрагмента, восстановлением правильного стереобаланса, нормализацией темпа воспроизведения фрагмента. Предъявление звуковых программ осуществляется как с использованием мультимедийных средств компьютера (наушники или акустические системы), так и посредством оригинального акустического сенсорного кресла (АСК), оказывающего воздействие на пациента не только через его слуховую систему, но и через тактильные рецепторы поверхности тела. В спинке и сидении АСК содержатся 16 акустических излучателей, каждый из которых имеет независимое управление громкостью. В ходе процедуры пациент, изменяя параметры своих физиологических сигналов (дыхания, частоты пульса, ЭЭГ и т.п.), управляет пространственным перемещением звуковой волны по креслу (рис. 4). Изменение амплитудно-пространственного распределения акустического воздействия, подчиненное волевым усилиям пациента, сопровождается не только выраженным релаксирующим эффектом, но и яркими положительными эмоциями, повышающими мотивацию на достижение заданного порога. Использование тактильной сен-

сорной системы, одной из наиболее древних в филогенетическом плане, для формирования контура биологической обратной связи открывает новые перспективы для повышения эффективности биоуправления.

Комплекс «РЕАКОР» обеспечивает полиграфическую регистрацию большинства используемых в практике биоуправления физиологических показателей в произвольном сочетании из следующего перечня: электрокардиограмма, электромиограмма, электроэнцефалограмма, реограмма, фотоплетизмограмма, кожно-гальваническая реакция, температура тела, дыхание, стабิโลграмма и т.п., как в условиях покоя, так и при моделировании психоэмоционального напряжения (стресс-тестирование). Это позволяет объективизировать паттерн психофизиологической реакции на стресс и выбрать оптимальный набор физиологических сигналов и их параметров для организации контура комплексной БОС. При этом возможно осуществление мультипараметрического и/или полифункционального биоуправления. В первом случае используются несколько параметров, отражающих состояние какой-то одной системы организма, например, соотношение альфа- и тета-ритмов ЭЭГ в лечении патологических пристрастий (наркомания, алкоголизм). Во втором случае одновременно контролируемые параметры относятся к разным системам организма, например, совместный контроль кожной температуры и тонуса лицевой мускулатуры в релаксационных процедурах.

Для примера покажем временную динамику трендов некоторых физиологических показателей, характеризующих различные системы организма (рис. 5):

- амплитуда систолической волны;
- мощность альфа-ритма в левом затылочном отведении — «АльфаМ» A1;
- уровень постоянной составляющей в левом теменном отведении — ГРЗО1.

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

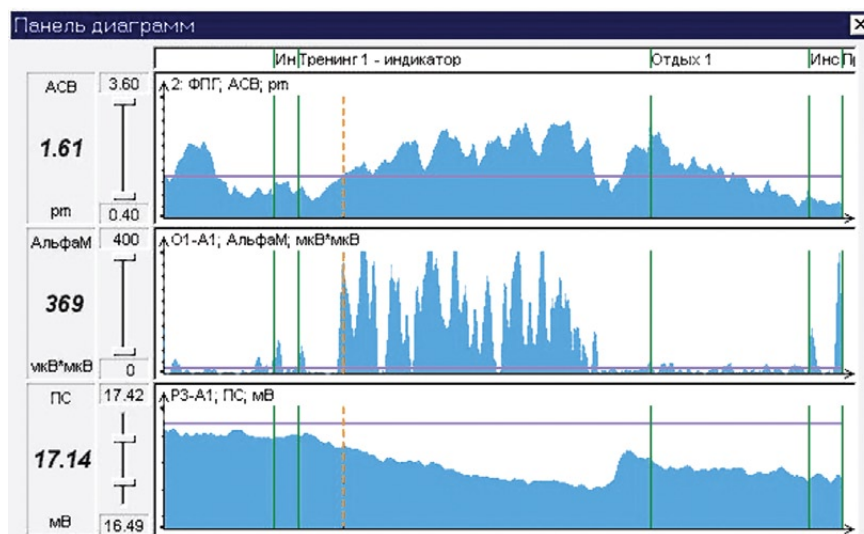


Рис. 5. Временная динамика трендов некоторых физиологических показателей во время проведения этапа тренировки БОС-тренинга на повышение температуры. Отражены этапы исходного фона этапа тренировки и отдыха после 1-го этапа тренировки.

столической 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. Разумеется, комплекс предоставляет возможность одновременного управления по нескольким однотипным показателям, полученным от различных отведений, что позволяет, например, проводить процедуры БОС-тренинга при патологии опорно-двигательного аппарата одновременно по двум, четырем или шести мышечным группам. Наличие в составе комплекса стабильной платформы позволяет проводить процедуры баланс-биотренинга. В совокупности эти возможности позволяют существенно облегчить учет индивидуальной специфики взаимоотношений между отдельными физиологическими системами организма и выбрать для каждого пациента индивидуальную стратегию проведения процедуры биоуправления.

Исчерпывающий набор базовых параметров, рассчитываемых в реальном времени для каждого из регистрируемых физиологических сигналов (например, для ЭКГ вычисляется 12 параметров, для ЭЭГ — 17, для ФПГ — 22 и т.д.), гибкие возможности по объединению их в составные показатели самим пользователем, а также широкий набор типов образов и их свойств, которые можно использовать для отображения управляемых параметров, открывают возможность создания пользователем собственных сценариев процедур биоуправления. Подсистема синтеза сценария процедуры (редактор сценариев) позволяет заранее спланировать и задать все необходимые условия и параметры предстоящей тренировки в виде последовательности этапов управления, разделенных этапами отдыха и инструктажа пациента. Возможность независимого задания на каждом этапе тренировки целей и управляемых параметров, форм предъявления сигнала обратной связи, адаптивная подстройка степени трудности задания под текущее состояние пациента и ряд других функциональных возможностей комплекса существенно снижают нагрузку на врача по управлению ходом процедуры и позволяют ему сконцентрироваться на анализе изменения состояния пациента, отражаемом в динамике регистрируемых электрофизиологических сигналов и их параметров. Эффективность вы-

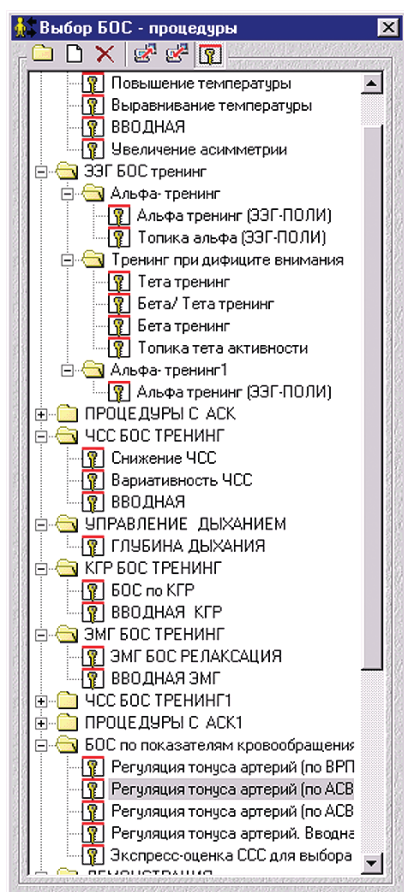


Рис. 6. Фрагмент окна выбора БОС-процедуры.

полнения пациентом задания анализируется автоматически, и при выполнении заданных условий могут формироваться поощряющие голосовые, музыкальные, текстовые сообщения или может осуществляться досрочное завершение текущего этапа и переход к следующему. В то же время инструктор на своем мониторе может наблюдать не только регистрируемые сигналы и выбранные для биоуправления параметры, но и любые другие базовые или составные параметры, рассчитываемые в реальном времени для регистрируемых сигналов. При необходимости он может оперативно, не прерывая тренировки и не отвлекая пациента, корректировать пороги, заменять содержание образов, подстраивать параметры их предъявления и т.п.

Комплекс «РЕАКОР» обеспечивает не только подкрепление, но и наказание определенных нежелательных состояний, которые отражаются в показателях контролируемых физиологических процессов. Для этого могут быть использованы как неприятные

громкие акустические и интенсивные тактильные воздействия (АСК), так и умеренная болевая электростимуляция, что дополнительно повышает мотивацию обучаемого.

Методическое обеспечение комплекса представлено в виде библиотеки готовых процедур, содержащих сценарии БОС-тренинга по всем доступным физиологическим параметрам. Библиотека процедур имеет древовидную структуру (рис. 6) и может быть организована по различным признакам: по типу используемого физиологического параметра, по заболеваниям и т.п.

Комплекс реализует не только методики однонаправленного управления выбранными параметрами с целью формирования состояния гипер- или гипоактивности, но и позволяет в течение одного этапа проводить знакопеременное (альтернативное) биоуправление. Такой способ, когда попеременно с периодом от нескольких секунд до нескольких минут следуют состояния гипер- и гипоактивности тренируемой системы организма, считается более физиологичным, поскольку опирается на естественные биоритмы функций. При этом легко достигается значительное увеличение диапазона управления, тренируются активационные и тормозные механизмы, что способствует оптимизации баланса симпат- и ваготропных механизмов, усилению межсистемных взаимодействий. Например, уста-

новлено, что наилучший терапевтический эффект альфа-тренинга при неврозах отмечается на низкочастотных флуктуациях проявляемости «веретен» альфа-ритма. Для проведения таких процедур в составе комплекса предусмотрен многоканальный задающий генератор, формирующий эталонные (навязываемые) процессы, законы изменения которых выбираются из библиотеки или создаются пользователем произвольно. Разумеется, в качестве эталонного процесса наряду с искусственно синтезируемыми сигналами допускается использовать и фрагменты записи реальных физиологических сигналов и их параметров, полученных от здорового индивидуума или от самого пациента в период ремиссии. Эта возможность комплекса позволяет реализовать некий симбиоз принципов биорезонансной терапии и биологической обратной связи, обещающий в некоторых случаях кардинальное повышение эффективности процедур биоуправления. Любой выбранный эталонный процесс может предъявляться в зрительной, слуховой и тактильной модальности.

Средства математической обработки и хранения данных позволяют детально проанализировать ход проведенной процедуры в постреальном времени с целью оптимизации индивидуальной программы в будущем, оценить изменение состояния пациента по контролируемым показателям

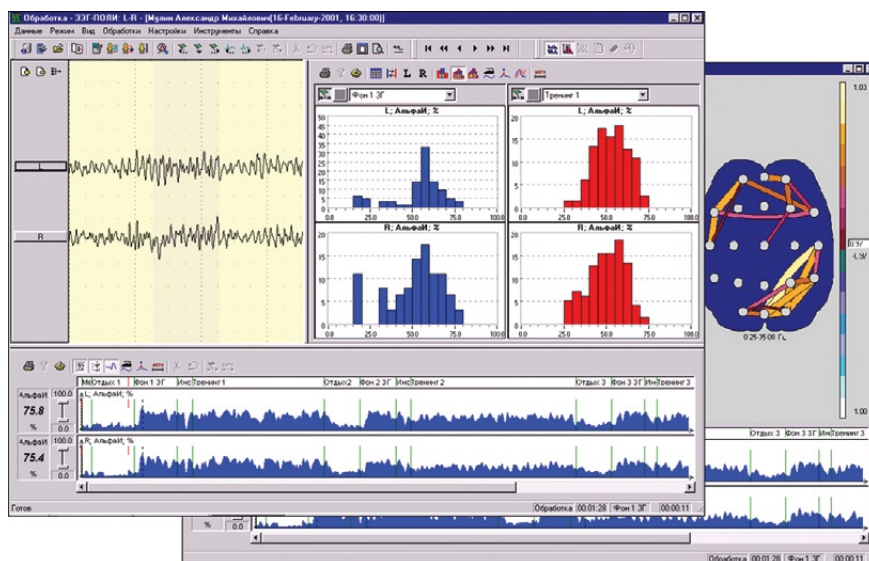


Рис. 7. Представление результатов процедуры БОС-тренинга.

на каждом этапе процедуры и на протяжении всего реабилитационного курса. Предоставляется возможность просмотра зарегистрированных сигналов, динамики контролируемых параметров, спектров, гистограмм распределения (в графическом или табличном виде), скаттерограмм, рассчитанных отдельно для каждого этапа тренировки или любых, выбранных пользователем, фрагментов процедуры (рис. 7), что в простой и наглядной форме позволяет выявить и оценить даже незначительные сдвиги контролируемых параметров,

обусловленные волевыми усилиями пациента. Вся информация, полученная в ходе проведенной процедуры, может быть сохранена в базе данных и проанализирована в дальнейшем с целью представления в наглядном виде курсовой динамики контролируемых параметров состояния пациента.

На наш взгляд, предложенный подход к организации процесса биоуправления и его реализация в комплексе «РЕАКОР» отличаются от средств, доступных в настоящее время исследователю и практикую-

щему врачу, и позволяют внедрить в широкую клиническую практику и профилактическую медицину современные методы немедикаментозной коррекции и реабилитации различных систем организма. Основные особенности предложенного подхода — существенное расширение круга потенциальных сфер использования и повышение привлекательности процедур за счет включения их в контекст осмысленной целенаправленной деятельности субъекта, базирующейся на активности естественной ФС.

