

На правах рукописи

ДОЛЕЦКИЙ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ
АДАПТИВНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ
ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ**

03.03.01 - Физиология

АВТОРЕФЕРАТ

**Диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук**

Волгоград 2012

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации»

Научный консультант доктор медицинских наук, профессор
КЛАУЧЕК Сергей Всеволодович

(ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Волгоград)

Официальные оппоненты доктор медицинских наук, профессор
КИРИЧУК Вячеслав Федорович

(ГБОУ ВПО Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского Министерства здравоохранения РФ, г. Саратов)

доктор биологических наук, профессор
СЕНТЯБРЕВ Николай Николаевич

(ФГБОУ ВПО «Волгоградская государственная академия физической культуры» Министерства спорта РФ, г. Волгоград)

доктор медицинских наук, профессор
ГАВРИКОВ Леонид Константинович

(ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Волгоград)

Ведущая организация: ГБОУ ВПО «Первый Московский Государственный Медицинский Университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ»

Защита состоится «___» марта 2013 г. в ___ ч. на заседании Диссертационного Совета Д 208.008.06 ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения РФ» (400131, г. Волгоград, пл. Павших борцов,1)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения РФ»

Автореферат разослан «___» 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор социологических наук,
кандидат медицинских наук,
профессор

М.Д.Ковалева

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Одна из актуальных задач современной физиологии – поиск путей повышения адаптации человека к психоэмоциональным нагрузкам, способным при длительном или частом проявлении приводить к развитию психоэмоционального напряжения и нарушению центральной регуляции всех форм произвольной деятельности (Судаков К.В., 2004; Святогор И.А. с соавт., 2005; Маркина Л.Д., Маркин В.В., 2008). Наиболее распространенными системными проявлениями этих нарушений являются расстройства в деятельности сердечно-сосудистой системы.

Неадекватное предъявляемой нагрузке психоэмоциональное напряжение сопровождает работу операторов различных производств, научных сотрудников в процессе деятельности, сопряженной с длительной монотонной работой, а также у лиц «помогающих профессий» (врачи, психологи, сотрудники МЧС) при деятельности в условиях экстремального психоэмоционального напряжения (Судаков К.В., 1998; Баранов В.М., Сентябрев Н.Н., Солопов И.Н., 2004). Наиболее уязвимы к действию стрессогенных факторов лица молодого возраста (18-33 года), испытывающие дополнительное психоэмоциональное напряжение в процессе выработки профессиональных навыков в соответствующем виде деятельности и имеющие повышенный риск возникновения психосоматических расстройств (Зайцева Ж.И., 2004; Лапшина Т.Н., 2007). Высокие нагрузки, обусловленные спецификой учебной деятельности студентов, также вызывают хроническое перенапряжение психоэмоциональной сферы, системы кровообращения и других жизненно важных систем, что может приводить к переутомлению и появлению различных функциональных расстройств (Агаджанян Н.А., 1997; Кузнецова А.С., Барабанщикова В.В., Злоказова Т.А., 2008).

Первичная профилактика психоэмоциональных перегрузок заключается в соблюдении оптимального сочетания труда и отдыха (Московченко О.Н., 2004; Глазачев О.С., 2011), при этом наиболее естественной формой коррекции состояния психоэмоционального напряжения является релаксация. Однако большинство лиц молодого возраста не имеет достаточной мотивации для организации режима собственного отдыха, способствующего рекреационным процессам и стимулирующего повышение адаптации (Жбанков О.В., Толстой Е.В., 1997). Отличие самоуправления с биологической обратной связью (БОС) от других методов релаксации (аутогенная тренировка, функциональная музыка) заключается в том, что возникающее во время БОС-тренинга представление о контроле над физиологической функцией позволяет осознать собственную роль в повышении качества жизни (Вангевич О.А., 2004). Кроме того, БОС наиболее эффективна при отсутствии структурных (органических) изменений, что делает ее наиболее актуальной для оптимизации процессов адаптации (Святогор И.А. с соавт., 2000; Лазарева О.Ю., 2002; Садчикова О.А., 2005; Suvorov N., 2006).

Вместе с тем, в последнее время появляются работы, свидетельствующие о существенных недостатках дизайна имеющихся методов БОС. Основными недостатками считаются отсутствие определения индивидуальной variability регулируемых параметров при оценке успешности релаксации (Мажирина К.Г., 2010; Садыкова Н.А. с соавт., 2011; Yucha S.V. et al., 2005), внедрение в практику без достаточной разработки

физиологических механизмов адаптивного биоуправления (Черапкина Л.П., 2010; Scharff L., 2002), низкая обучаемость и быстрая утрата интереса обучаемых к адаптивному биоуправлению с БОС. В исследованиях, посвященных БОС, отмечается значительное смещение акцента в сторону его клинического применения в лечении депрессии, гипертонии, посттравматических стрессовых расстройств и ряда психосоматических нарушений (Barton K.A., Blanchard E.B., 2001; Olsson E.M. et al., 2010; Choi S.W., 2011). При этом последние работы демонстрируют снижение эффективности методик БОС. В рандомизированном контролируемом исследовании эффективности поведенческой терапии головной боли БОС оказалась эффективной только в 39% случаев (Devineni T., Blanchard E.B., 2004). В исследовании успешности освоения регуляции сердечного ритма беременными — только 55% женщин с высоким риском стрессовых расстройств смогли освоить данную методику (Федотчев А.И., Ким Е.В., 2009). Следовательно, использование методик адаптивного биоуправления с БОС в целевых группах лиц, которым не показано систематическое медикаментозное лечение, пока малоэффективно.

В литературе встречаются указания на то, что успешность освоения навыков саморегуляции может быть обусловлена индивидуальным психофизиологическим статусом индивида, исходным уровнем регулируемого показателя (Баранов В.М., Сентябрьев Н.Н., Солопов И.Н., 2004; Violani C., Lombardo C., 2003). Однако предлагаемые методики оценки эффективности саморегуляции с БОС основываются на общих рекомендациях и не учитывают данные особенности. Также в литературе не отражена эффективность методов БОС у наиболее подверженных психоэмоциональному напряжению лиц «помогающих профессий» — врачей, психологов, пожарных, специалистов службы МЧС.

Таким образом, предупреждение возникновения связанных со стрессом нарушений адаптации требует учёта индивидуальных особенностей. В силу отсутствия доступной методологии, обеспечивающей системный подход к комплексной оценке функционального состояния организма и учитывающей психофизиологический статус, разработка способа прогнозирования успешности и поиск предикторов эффективности различных методов самоуправления и релаксации являются актуальными. Не менее важен и вопрос выбора методов первичной профилактики стрессовых расстройств, для чего необходим индивидуализированный подход, основанный на выраженности прогностически неблагоприятных эмоционально-вегетативных отклонений у конкретного человека, а также сравнительная оценка разных способов коррекции. В связи с этим представляется целесообразным исследование структуры вариабельности управляемых с помощью БОС показателей и выделение из большого числа разнообразных критериев управления имеющих наибольшую информативность с целью повышения эффективности адаптивного биоуправления с обратной связью.

Помимо адаптивного биоуправления на функциональное состояние мозга и поведение человека оказывают управляющее воздействие различные аудиовизуальные средства, использующие низкочастотную ритмическую стимуляцию (Brauchli P. et al., 1995). Считается, что такие процедуры не требуют специальной тренировки и каких-либо усилий со стороны испытуемого, действуют быстро и не имеют побочных эффектов. Это позволяет применять их для подавления стресса при проведении различных медицинских

процедур, во время спортивных соревнований, перед публичными выступлениями (Morse D.R. 1993, 1994; Пятакович Ф.А., Макконен, К.Ф., 2006).

В настоящее время целый ряд исследований посвящен рассмотрению ритмических сенсорных воздействий как фактора коррекции функционального состояния организма. Так, имеются многочисленные свидетельства того, что ритмические или частотно-модулированные сенсорные раздражения даже сверхмалой интенсивности могут сопровождаться выраженными электрофизиологическими, нейропсихологическими и поведенческими эффектами (Киричук В.Ф., 2006-2012). Данные эффекты определяются повышенной чувствительностью центральной нервной системы к воздействиям физических факторов колебательно-волновой природы, резонансными механизмами взаимодействия прерывистых раздражений с эндогенными ритмическими процессами организма (Федотчев А.И., Бондарь А.Т., 2006-2009). Большое количество исследований свидетельствуют о существенном вкладе в регуляцию деятельности организма сверхмедленных физиологических процессов. Установлено их значение как интегральных показателей функционального состояния центральной нервной системы и висцеральных органов (Флейшман, А.Н., 1998; Фокин, В.Н., 2001-2007; Филиппов И.В. с соавт., 2012). Однако изменения данных процессов во время изменений психоэмоционального состояния, а также прогностическая роль в оценке адаптационных возможностей организма остаются не изученными.

Показано, что при взаимодействии различных внешних факторов колебательно-волновой природы с изменениями нервной системы и достижении резонанса происходит перестройка ритмики нервных клеток, сопровождающаяся изменением протекающих в них обменных процессов (Федотчев А.И. с соавт., 1996, 2001). Вместе с тем, существующие публикации отражают наличие резонанса преимущественно между сердечно-сосудистой и дыхательной системами, между различными отделами центральной нервной системы. Исследование резонансных взаимодействий между нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системами целесообразно для оценки интегративного взаимодействия между различными регулирующими структурами.

Согласно представлениям некоторых исследователей, все методики биоуправления основаны на циклически меняющихся процессах внутри- и межсистемных взаимодействий, являющихся саморегулятором системы, работающей посредством отрицательной обратной связи (Vaschillo E. et al., 2002; Lehrer P.M. et al., 2003; Surarto A.P. et al, 2010). Следовательно, возможно сходство физиологических механизмов адаптивного, эндогенного биоуправления и резонансной стимуляции нервной системы. Однако работ, исследующих наличие взаимосвязей между выраженностью резонансных процессов в нервной системе и эффективностью методов биоуправления, в литературе найдено не было.

Таким образом, изучение ритмических коррелятов функционального состояния центральной нервной системы и эффективности деятельности, сопряжённой с длительной монотонной работой, у лиц «помогающих профессий» (врачи, психологи, сотрудники МЧС) и студентов, а также выявление ведущих осцилляторов в центральной нервной системе, как объекта возможного резонансного воздействия, является актуальным. Вместе с тем, исследование механизмов и сравнительный анализ эффективности различных

методик биоуправления у лиц, имеющих риск развития психоэмоциональных расстройств, могут способствовать совершенствованию профилактики дезадаптации и возникновения психосоматических заболеваний.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью работы стало создание универсального алгоритма адаптивного биоуправления на примере показателей биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного тонуса и церебральной гемодинамики, а также поиск нейрофизиологических механизмов их воздействия на психоэмоциональное состояние человека.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Выбрать адекватные нейрофизиологические, вегетативные и гемодинамические критерии оценки психоэмоционального напряжения.
2. Определить интегральные параметры динамической оценки психоэмоционального состояния с использованием моделей эмоционального стресса и релаксации.
3. Разработать алгоритмы адаптивного биоуправления с использованием нейрофизиологических, вегетативных и гемодинамических параметров.
4. Оценить эффективность адаптивного биоуправления в группе повышенного риска развития стрессобусловленной дезадаптации.
5. Разработать способы повышения эффективности управления с биологической обратной связью.
6. Провести оценку взаимосвязи эффективности методов биоуправления и выраженности биоэлектрических резонансных процессов в нервной системе.
7. Обосновать концепцию единого нейрофизиологического механизма различных видов адаптивного биоуправления.
8. Установить физиологические механизмы обеспечения эффективности произвольной коррекции психоэмоционального состояния человека с помощью методик адаптивного биоуправления.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Обосновано ведущее значение явлений физиологического резонанса в ритмозадающих структурах, обеспечивающих формирование сверхмедленной биоэлектрической активности мозга, нейрогуморальную регуляцию тонуса церебральных сосудов и вариабельность сердечного ритма, как единого механизма эффективности адаптивного биоуправления.
2. Впервые предложен универсальный алгоритм выбора интегральных параметров биоуправления на примере нервной и сердечно-сосудистой систем на основе результатов многомерного статистического анализа.
3. Впервые установлены закономерности динамики показателей психоэмоциональной адаптации в континууме реакций «стресс — релаксация», проявляющиеся в диффузном увеличении показателей мощности высокочастотной биоэлектрической активности головного мозга, высокочастотного компонента спектрального анализа вариабельности сердечного ритма и тонуса церебральных артерий

крупного калибра при изменении психоэмоционального состояния от релаксации до выраженного напряжения.

4. Определены общие нейрофизиологические особенности таких релаксационных методов, как аутотренинг, медитация, ритмическое светозвуковое воздействие и методика биологической обратной связи, заключающиеся в усилении синхронизации биоэлектрической активности, отражающем снижении функциональной активности мозга и автономности в работе различных отделов центральной нервной системы.

5. Установлена роль резонансных процессов в эффективности изменения биоэлектрической активности как при ритмическом светозвуковом воздействии, так и при использовании биологической обратной связи.

6. Выявлена зависимость эффективности управления психоэмоциональным состоянием с биологической обратной связью от исходного уровня регулируемого физиологического показателя.

7. Установлено ведущее значение выраженности медленной биоэлектрической активности и амплитуды когнитивных вызванных потенциалов в прогнозировании эффективности адаптивного биоуправления.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Предложен алгоритм практического использования оценки выраженности сверхмедленной биоэлектрической активности головного мозга и мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы для прогноза эффективности биоуправления с биологической обратной связью.

Для повышения эффективности адаптивного биоуправления по показателям variability сердечного ритма разработана методика использования резонансной составляющей дыхательной активности.

Разработанный интегральный показатель динамики церебрального кровообращения, используемый в процессе сеансов адаптивного биоуправления в качестве управляемого параметра, позволяет повысить эффективность регулирования тонуса мозговых артерий.

Разработаны рекомендации по использованию персонализированных критериев, повышающих эффективность обучения самоуправлению с БОС.

Рекомендуется использование нейрофизиологических критериев — доминирующая частота сверхмедленной биоэлектрической активности и мощность альфа, тета- дельта- ритма электроэнцефалограммы, амплитуда волны РЗ когнитивных вызванных потенциалов для прогнозирования успешности обучения биоуправлению с использованием биологической обратной связи.

В качестве дополнительных критериев, повышающих точность прогноза у представителей помогающих профессий и имеющих риск психоэмоционального стресса лиц, рекомендуется использовать показатели нейротизма и ситуативной тревожности.

Разработаны макеты портативных программно-аппаратных комплексов, позволяющих осуществлять адаптивное биоуправление без привлечения специалистов.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Внедрение результатов исследования в практику осуществлено при поддержке Российского Гуманитарного Научного Фонда: гранты «Механизмы реализации и предикторы эффективности самоуправления с использованием различных психофизиологических подходов» (№ 06-06-20603а/В), «Явление физиологического резонанса - механизм возникновения и возможность практического использования» (№ 07-06-20601а/В), «Использование резонансного сенсорного воздействия в диагностике и коррекции нарушений адаптации у имеющих риск развития инсомнических расстройств лиц» (№ 11-16-34007а/В), «Система психофизиологического сопровождения учащейся молодежи, как средство профилактики потребления психоактивных веществ в образовательной среде» (№ 12-16-34001 а/В), Фонда поддержки малых форм предприятий («Разработка полипараметрического портативного комплекса для оценки психофизиологического состояния и адаптационных возможностей организма», «Лечебно-диагностический комплекс для немедикаментозного лечения методом биологической обратной связи с использованием когнитивной графики»), выполнявшихся в 2006-2012 гг.

Полученные результаты внедрены в учебный курс на кафедрах нормальной физиологии ВолГМУ, социальной работы и медицины ВолГУ, электронно-вычислительной техники ВолГТУ, в отделе психофизиологического обеспечения ГУ МЧС России по Волгоградской области.

АПРОБАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основные положения диссертационной работы изложены на научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения А.А.Ухтомского, (Волгоград, 2001), на XI международном симпозиуме «Эколого-физиологические проблемы адаптации» (Москва, 2001), на научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения Н.Е.Введенского (Волгоград, 2002), на 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека» (Волгоград, 2002), на 8-ой Международной Пущинской школе-конференции молодых ученых «Биология - наука XXI века» (Пущино, 2004), на XIX съезде Физиологического общества им. И.П.Павлова (Екатеринбург, 2004), на XI Межвузовской конференции молодых ученых (Санкт-Петербург, 2005), на 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека» (Волгоград, 2005), на X и XI региональных конференциях молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 2005-2006), на XIII международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2006), на межрегиональных научно-практических конференциях студентов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и наука: итоги и перспективы» (Саратов, 2006-2007), на 65 юбилейной открытой научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины» (Волгоград, 2007), на XX съезде Физиологического общества им. И.П.Павлова (Москва, 2007), на межрегиональной конференции «Эпилепсия у детей: проблемы и решения» (Волгоград, 2007), на 5-й Всероссийской научно-практической конференции «Медико-биологические и психолого-

педагогические аспекты адаптации и социализации человека» (Волгоград, 2008), на Первой Российской научно-практической конференции «Научное и практическое значение импедансометрии в диагностике заболеваний внутренних органов» (Пермь, 2008), на V Конференции молодых ученых России с международным участием «Фундаментальные науки и прогресс клинической медицины» (Москва, 2008), на 55-й, 56-й и 57-й региональных научно-практических конференциях «Современная инновационная медицина – населению Волгоградской области» (Волгоград, 2008-2010), на 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Физиология адаптации» (Волгоград, 2010), на XXI Съезде Физиологического общества им. И.П.Павлова (Калуга, 2010), на V конгрессе неврологов-эпилептологов ЮФО РФ (Волгоград, 2011), на ежегодной Всероссийской научной школе-семинаре (Саратов, 2011-2012), на XVI Международной конференции по нейрокибернетике (ICNC-12).

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Обобщающим нейрофизиологическим механизмом, обеспечивающим эффективное адаптивное биоуправление, является активация неспецифических структур ствола мозга и ассоциативных таламо-кортикальных систем.

2. Предложенный алгоритм учета дисперсии значений регулируемого физиологического параметра в покое и в континууме реакций «стресс—релаксация» повышает эффективность адаптивного биоуправления данным показателем.

3. С целью осуществления адаптивного биоуправления по электроэнцефалографическим показателям и повышения его эффективности целесообразно использование мощности высокочастотной бета-активности.

4. Оптимальным контролируемым параметром адаптивного биоуправления вариабельностью сердечного ритма является индекс вегетативного напряжения. Для повышения эффективности произвольной регуляции целесообразно использовать явление кардиореспираторной синхронизации.

5. С целью осуществления адаптивного биоуправления по параметрам мозговой гемодинамики и повышения контроля его эффективности целесообразно использование разработанного интегрального показателя кровообращения, отражающего тонус крупных церебральных артерий.

6. Универсальным условием достижения максимальной индивидуальной эффективности адаптивного биоуправления является использование базовых значений управляемого показателя и его вариабельности в соответствии с «законом исходного уровня».

7. Успешность изменения физиологических параметров с помощью методов адаптивного и резонансного биоуправления неодинакова. Наибольшей эффективностью в отношении мощности альфа-ритма биоэлектрической активности головного мозга, частоты сердечных сокращений, тонуса церебральных сосудов обладает метод биологической обратной связи, наименьшей — бинауральное ритмическое воздействие.

8. Информативными нейрофизиологическими критериями прогнозирования успешности обучения биоуправлению с использованием биологической обратной связи

являются мощность дельта-ритма электроэнцефалограммы, параметры амплитуды когнитивных вызванных потенциалов.

9. Общим механизмом эффективного биоуправления является усиление корреляции сверхмедленных биоэлектрических потенциалов головного мозга, сердечных сокращений и тонуса мозговых сосудов, основанное на явлении резонанса.

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 60 печатных работ, из них 11 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

СТРУКТУРА И ОБЪЁМ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа изложена на 312 страницах текста компьютерного набора и состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, 5 глав результатов собственных исследований, обсуждения результатов, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Работа иллюстрирована 22 таблицами и 11 рисунками. Библиографический список включает 429 источников, из которых 218 - публикации иностранных авторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Группы обследуемых состояли из молодых практически здоровых врачей, психологов, лиц рискованных профессий (пожарные и спасатели) и студентов, относящихся к группе молодых взрослых (по определению Levinson J.D., 1978) в возрасте от 18 до 33 лет (21,5 год в среднем). Эти группы относятся к категории взрослого трудоспособного населения, наиболее подверженной психоэмоциональному стрессу в процессе деятельности.

Включение в исследование врачей, психологов и лиц рискованных профессий обусловлено высоким риском возникновения у них психосоматических расстройств (Боднар Э.Л. с соавт., 1999; Зайцева Ж.И., 2004). По данным ВОЗ среди профессий, в которых наиболее часто встречается синдром эмоционального выгорания (от 30 до 90% работающих), следует отметить врачей, учителей, психологов, социальных работников, спасателей, работников правоохранительных органов. В исследование включены только испытуемые молодого возраста в связи с низкой вероятностью наличия сопутствующей психосоматической патологии наряду с высоким психоэмоциональным напряжением, испытываемым в процессе становления специалиста в соответствующем виде деятельности (Глазачев О.С., 2011). Включение в исследование студентов связано с наиболее низким уровнем здоровья среди лиц данного возраста (Абразов М.С., Жуков М.М., 1985) и высоким риском развития синдрома эмоционального выгорания после начала трудовой деятельности (Сергиенко А.В. с соавт., 2007; Бондаренко Е.В., Артюхина А.И., Великанова О.Ф., 2009).

Работа выполнена при соблюдении основных биоэтических правил и требований с научным обоснованием планируемых исследований, анализом возможных рисков и дискомфорта, описанием исследования для неспециалистов и получением информированного согласия от обследуемых (Генин А.М. с соавт., 2001).

Обследование проводилось с использованием комплекса методов, характеризующих основные показатели функционального состояния головного мозга, вегетативной нервной системы, системной и церебральной гемодинамики. Также использовался комплекс методов оценки структурно-динамических характеристик личности.

На предварительном этапе изучалась научно-методическая литература по избранной теме, осуществлялся подбор адекватных методов исследования.

На первом этапе исследования проводилось изучение характеристик биоэлектрической активности коры головного мозга, вегетативного статуса, системной и церебральной гемодинамики с целью исключения из анализа зависимых, вторичных, показателей.

На данном этапе проводился сбор анамнеза для исключения текущей соматической патологии и выявления лиц, имевших опыт саморегуляции (систематические занятия аутотренингом, йогой, медитацией на протяжении года и более). Далее всем испытуемым регистрировали электроэнцефалограмму, реокардиограмму и реоэнцефалограмму, осуществляли измерение системного давления и запись вариабельности сердечного ритма в покое.

С целью определения параметров с наименьшей зависимостью от других критериев использовались методы описательной статистики, корреляционного, факторного и кластерного анализа и выявлялась вариабельность зарегистрированных в исходном состоянии покоя показателей.

На втором этапе исследования проводилась оценка изменчивости отобранных показателей при различной выраженности психоэмоционального стресса. Для оценки степени вариабельности исследуемых параметров моделировался континуум эмоциональных реакций, включавший в себя состояние покоя, состояние выраженного физиологического стресса (моделировалось в пробе с падением) и состояние снижения психоэмоционального напряжения (релаксации) у здоровых лиц молодого возраста (900 студентов). Релаксация достигалась путем прослушивания функциональной музыки. С целью проверки зависимости нормы реакции физиологических параметров от опыта целенаправленной релаксации осуществлялась регистрация биоэлектрической активности, системной и церебральной гемодинамики, вегетативного статуса в процессе сеансов релаксационной саморегуляции (у лиц, систематически занимающихся йогой и медитацией — группа из 30 человек).

С помощью дисперсионного анализа, регрессионного анализа, методов параметрического и непараметрического анализа парных выборок осуществлялся отбор наиболее значимо менявшихся показателей биоэлектрической активности, гемодинамики и вегетативного статуса. Проводился выбор интегрального показателя, имевшего наибольший диапазон изменений в моделируемом нами континууме «стресс — релаксация».

На третьем этапе осуществлялся тренинг с адаптивным биоуправлением предварительно отобранными нами интегральными показателями. В тренингах участвовали как студенты (группа контроля), так и 2 группы лиц с высоким риском возникновения стрессобусловленной дезадаптации (первая группа включала в себя психологов и врачей, вторая - сотрудников службы МЧС). В каждую группу входило 30

человек. Из отобранных лиц были сформированы 3 подгруппы, которые проходили БОС-тренинги по параметрам биоэлектрической активности, вегетативного статуса и церебральной гемодинамики, чередовавшиеся в случайном порядке. Частота сеансов в среднем составляла 2 в неделю, длительность каждого тренинга — 4 недели.

Перед прохождением БОС-тренингов выполнялась оценка личностных характеристик, особенностей вегетативного реагирования (тестирование основных структурно-динамических характеристик личности с помощью опросника ММРІ, тестов Айзенка, Спилбергера, Люшера, теста на внушаемость, параметров вегетативного статуса и вегетативной реактивности). Выборочно проводилась регистрация уровня постоянных биоэлектрических потенциалов головного мозга и когнитивной вызванной активности. Впоследствии с обследуемыми проводились сеансы биоуправления с БОС с целью достижения релаксации и устойчивого снижения психоэмоционального напряжения. Выполнялся анализ влияния данных сеансов на характер биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного статуса организма, состояния церебральной гемодинамики. По окончании тренингов ретроспективно оценивалась зависимость эффективности освоения навыков адаптивного биоуправления от используемых стратегий саморегуляции.

На четвертом этапе проводился поиск предикторов эффективности освоения навыков адаптивного биоуправления по параметрам биоэлектрической активности, вегетативного статуса и церебральной гемодинамики. В зависимости от выраженности изменений регулируемых в процессе БОС-тренинга показателей, осуществлялось разделение испытуемых на группы успешных и неуспешных. Проведение факторного и дискриминантного анализа зарегистрированных перед тренингами психо- и нейрофизиологических показателей, использование методов параметрического и непараметрического анализа парных выборок позволило выявить прогностически значимые критерии успешности освоения методик БОС-тренинга. Для повышения эффективности адаптивного биоуправления и поиска его нейрофизиологических механизмов осуществлялась проверка гипотезы резонансного механизма саморегуляции. С этой целью проводилась сенсорная стимуляция (фото- и фоностимуляция в диапазоне основных частот биоэлектрической активности) в 2 подгруппах по 30 человек и сопоставление изменений биоэлектрической активности во время адаптивного биоуправления с БОС и резонансного сенсорного воздействия. Для оценки межсистемной синхронизации (резонанса) нейродинамических характеристик, параметров вегетативного обеспечения сердечной деятельности и церебральной гемодинамики проводился спектральный, корреляционный, когерентный анализ зарегистрированных в исходном состоянии и в процессе пробы с падением, релаксации, БОС-тренинга, ритмической стимуляции показателей. Для адекватного сравнения все выборки были выравнены по размеру групп обучавшихся БОС-тренингу лиц — 30 человек. Для анализа из больших групп с помощью рандомизации методом последовательных номеров выбиралось по 30 исследований.

Для оценки функционального состояния ЦНС использовались электроэнцефалограф «Нейрон-спектр» (ООО «Нейрософт», Иваново) и полиграф «Энцефалан-131» (ООО НПКФ «Медиком-МТД», Таганрог). Уровень постоянного биоэлектрического потенциала регистрировался с помощью прибора «АМЕА» (ООО «Нейротек», Москва). Спектральный

анализ сердечного ритма проводился с помощью программно-аппаратного комплекса «ВНС-Спектр» (ООО «Нейрософт»). Системная и церебральная гемодинамика оценивались с помощью реографа Р4-02 (РЭМА, Львов) и полиграфа «Энцефалан-131».

Методы резонансного воздействия на ЦНС были реализованы в виде программно-аппаратных комплексов ритмической фото- и фоностимуляции. Для биоуправления с БОС использовались программно-аппаратный комплекс на базе полиграфа «Энцефалан-131», комплекс «БОСЛАБ» (НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, Новосибирск), а также авторские методики биоуправления. Алгоритм обследования представлен в таблице 1.

Табл.1

Алгоритм обследования

Параметры	Скрининг	Визит 1	Визит 2	Визит 3-10 БОС	Визит 11-18 БОС	Визит 19-26 БОС
Подписание информированного согласия, сбор анамнеза	960 чел.					
Оценка функционального состояния ЦНС: ЭЭГ в покое и в пробах с падением		960 чел.				
Оценка вегетативного статуса и реактивности по данным анализа variability сердечного ритма в покое и в пробах с падением при релаксации		960 чел.				
Оценка состояния системной и церебральной гемодинамики в покое и в пробах с падением, при релаксации		960 чел.				
Регистрация уровня постоянных потенциалов головного мозга, когнитивных вызванных потенциалов, тестирование основных структурно-динамических характеристик личности			90 чел.			
Проведение тренингов с биологической обратной связью по показателям: биоэлектрической активности, вегетативного статуса и церебральной гемодинамики				30 чел. 30 чел. 30 чел.	30 чел. 30 чел. 30 чел.	30 чел. 30 чел. 30 чел.
Фотостимуляция в режимах доминирующей частоты и навязанного ритма			90 чел.			
Фотостимуляция в режимах бинауральной стимуляции и навязанного ритма			90 чел.			

В итоге проанализированы данные скрининговых исследований 960 человек. После исключения артефактов проанализированы 922 электроэнцефалографических кривых, 883 реокардиографических, 943 реоэнцефалографических и 955 записей variability сердечного ритма. Все записи имели длительность 5 минут. Проведено 720 сеансов БОС-тренинга, включивших 5220 сессий, что в среднем составило по 8 сеансов и 58 сессий на каждого человека.

Обработка и анализ данных выполнялся с использованием возможностей статистической обработки программного пакета LibreOffice (© The Document Foundation,

2000-2012), а также статистических программных пакетов PAST версии 2.16 (© Hammer & Harper, 2000-2012) «Statistica 6.0» (© StatSoft Inc., 2001). На этапах статистического анализа проводились:

- Вычисление показателей описательной статистики и оценка характер распределения данных, характеризующих нейродинамику, вегетативный тонус, состояние церебрального и системного кровообращения (с помощью теста Колмогорова-Смирнова).

- Редукция числа показателей за счет исключения имеющих высокую степень взаимной корреляции.

- С помощью методов факторного и кластерного анализа поиск интегральных параметров, информативных для создания характеризующих нейродинамику, вегетативный тонус, пульсовое кровенаполнение и тонус церебральных сосудов критериев, имеющих наибольший отклик на изменение психоэмоционального состояния.

- Проверка с помощью критериев множественного сравнения достоверности различий показателей биоэлектрической активности, церебрального кровообращения и вариационной пульсометрии до, во время и после сеансов адаптивного биоуправления.

- Выделение групп с различной успешностью освоения БОС-тренинга с помощью кластерного анализа.

- Анализ полипараметрических связей между успешностью БОС-тренинга и значениями показателей реоэнцефалографии, электроэнцефалографии, вызванных потенциалов, вариационной пульсометрии, тестов ММПР, Айзенка и Люшера методами парной и множественной линейной корреляции; определение достоверности различий между группами с различной успешностью БОС-тренинга.

- Оценка взаимодействия параметров, характеризующих биоэлектрическую активность, вегетативную регуляцию сердца, пульсовое кровенаполнение и сосудистый тонус с использованием методов корреляционного, когерентного анализа.

- Построение математических моделей прогнозирования успешности БОС-тренинга с использованием метода дискриминантного анализа.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На основании аналитического обзора работ отечественных и зарубежных исследователей были определены основные физиологические системы, позволяющие реализовать принципы адаптивной биологической обратной связи для управления психоэмоциональным стрессом. При этом в качестве перспективных параметров для биоуправления были определены характеристики биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного статуса и параметры центральной и мозговой гемодинамики.

Как следует из анализа, для оценки параметров, характеризующих деятельность вышеназванных систем, применяется более 50 расчётных значений биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного тонуса, системного и церебрального кровообращения и сосудистого тонуса, в некоторой степени дублирующих друг друга и затрудняющих целостность интерпретации (Сидоренко Б.М., 2000; Кулаичев А.П., 2002; Кирой В.Н., 2003). Также в настоящее время появились исследования, указывающие на неинформативность части используемых критериев как показателей стрессустойчивости

(Кулаичев А.П., 2012). Сокращение количества используемых показателей и выбор независимого или интегративного критерия, имеющего наибольшую вариабельность в состоянии физиологического покоя и достоверно изменяющегося при сдвигах психоэмоционального состояния, позволит увеличить чувствительность к изменениям со стороны деятельности регулируемых систем, возникающим в процессе БОС тренинга. При использовании в качестве приоритетного параметра для реализации биоуправления с биологической обратной связью, подобный критерий позволит повысить «привлекательность» метода.

На первом этапе с целью выбора физиологических показателей, планируемых к использованию в качестве управляемых, были проведены корреляционный, факторный анализ. Перед началом анализа используемые показатели проверялись на нормальность распределения. С помощью корреляционного анализа планировалось исключить из дальнейшей обработки показатели, имевшие высокую взаимозависимость. С помощью факторного анализа планировалось решить 2 задачи: нормировать вариабельность разноплановых показателей (амплитудных, частотных, авто- и кросскорреляционных) и выявить имеющие наибольшую статистическую значимость критерии. В соответствии с критерием Кайзера, в каждом случае были оставлены факторы с собственными значениями, большими единицы (Боровиков В.П., 2003). Из дальнейшей обработки исключались показатели, имевшие корреляцию низкой и средней силы с факторами, описывающими изменчивость показателей центральной, вегетативной нервной систем и сердечно-сосудистой системы в состоянии физиологического покоя.

Результаты корреляционного анализа спектральных, корреляционных, когерентных, энтропийных показателей энцефалограммы выявили наличие сильной корреляции между фрактальным индексом Хёрста и Альфа-индексом, между коэффициентами средней и полной кросскорреляции, а также между интервалом автокорреляции и доминирующей частотой биоэлектрической активности (по данным автокорреляционного анализа). Для последующей обработки использовался только первый показатель в каждой группе, как имеющий меньшую чувствительность к артефактам (в случае средних значений) и первичность по отношению к рассчитываемым на их основе показателям (в случае индекса Хёрста и интервалом автокорреляции).

Результаты факторного анализа спектральных, корреляционных, когерентных, энтропийных показателей энцефалограммы, представленные в таблице 2, свидетельствуют о наличии 6 независимых факторов. Наибольший вклад в общую вариабельность вносит амплитудный фактор, имеющий корреляции высокой силы со средней амплитудой тета-, альфа- и бета-активности. В меньшей степени индивидуальная вариабельность показателей в изучаемой выборке связана с частотным фактором, имеющим сильную отрицательную корреляцию со средней частотой авто- и кросскорреляции, а также с автокорреляционным (прямая зависимость от коэффициента и обратная — от интервала автокорреляции) и кросскорреляционным (прямая зависимость от коэффициента и обратная — от задержки кросскорреляции) факторами. Еще два фактора имеют высокую зависимость от результатов когерентного и фрактального анализа.

**Корреляции группы исследуемых показателей биоэлектрической активности
головного мозга с результатами факторного анализа методом главных
компонент (варимакс)**

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6
Результаты фрактального (энтропийного) анализа						
индекс Хёрста	-0,03	0,04	-0,14	-0,28	0,15	0,78
индекс Дельта	0,04	-0,04	0,02	0,22	-0,11	0,71
Средняя амплитуда ритмов в частотных диапазонах						
Дельта	0,63	0,28	-0,60	-0,05	-0,01	0,03
Тета	0,87	0,27	0,01	0,01	0,01	-0,09
Альфа	0,76	0,22	0,31	0,00	0,17	0,10
Бета-1	0,91	-0,14	0,06	0,18	0,01	-0,04
Бета-2	0,82	-0,38	-0,12	0,10	0,02	0,15
Результаты автокорреляционного анализа						
Средняя частота	0,00	-0,93	0,05	0,07	0,03	-0,02
Интервал корреляции	-0,17	0,03	-0,90	-0,07	0,10	0,06
Коэффициент корреляции	0,14	0,43	0,74	-0,10	0,00	0,16
Результаты кросскорреляционного анализа						
Средняя частота	-0,07	-0,95	-0,14	-0,01	-0,08	0,04
Задержка	-0,07	0,07	0,24	0,19	-0,71	0,17
Коэффициент корреляции	0,08	0,13	0,20	0,29	0,81	0,21
Результаты когерентного анализа						
Средняя когерентность	0,01	-0,05	0,02	0,87	0,39	0,03
Средняя частота	0,19	-0,06	-0,18	0,81	-0,30	-0,01

Также результаты факторного анализа отражают минимальный вклад в индивидуальную вариабельность в состоянии физиологического покоя средней амплитуды дельта-активности. В связи с этим, данный параметр будет исключен из дальнейшей обработки как имеющий наименьшую изменчивость и, следовательно, наименее подходящий для произвольного управления с помощью БОС.

Полученные результаты, с одной стороны демонстрируют относительную независимость амплитудно-мощностных, частотных, корреляционных и энтропийных показателей. С другой стороны, большое число полученных факторов не позволяет существенно сократить количество планируемых к управлению характеристик без учета реакции на психоэмоциональную нагрузку.

С целью оценки выраженности индивидуальной динамики вегетативного тонуса были выбраны наиболее информативные показатели вариационной

кардиоинтервалометрии и спектрального анализа variability сердечного ритма. Предварительный корреляционный анализ variability сердечного ритма позволили исключить из дальнейшей обработки зависимые от ЧСС показатели Мода, SDNN, а также спектральные показатели ULF и TP, в исследуемом временном интервале (5 минут) имеющие корреляцию 0,94-0,95 с показателем VLF. Результаты факторного анализа variability сердечного ритма позволяют выделить шесть групп показателей, объединяющих зависимые от степени синхронизации (ИН, АМо), дисперсии ЧСС, спектрального анализа (VLF, HF, LF) и комплексные расчетные критерии (LF/HF, IC).

Известно, что амплитуда моды (АМо) и мощность спектра низкочастотного компонента (LF) являются показателями симпатических влияний на синусовый узел, уровень активности вазомоторного центра (Ноздрачев А.Д., Щербатых Ю.В., 2001). Мощность спектра высокочастотного компонента variability сердечного ритма (HF) и дисперсия ЧСС (ΔX) отражают уровень активности парасимпатического звена регуляции. Индекс напряжения (ИН) – является интегративным показателем напряжения регуляторных систем (Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001). Интегративный показатель LF/HF характеризует баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Вместе с тем, большое число полученных факторов не позволяет существенно сократить количество планируемых к управлению характеристик без учета реакции на психоэмоциональную нагрузку.

Результаты корреляционного анализа показателей системной гемодинамики, как можно было ожидать, выделяют в группы с высокой взаимной корреляцией показатели, связанные с артериальным давлением (САД, ДАД, АДср) и с сердечным выбросом (СИ, МОК). Последующий факторный анализ результатов реокардиографии и тонометрии позволяет выделить три фактора, условно разделяемые на объемный показатель работы сердца (высокая прямая корреляция с показателями СИ, УОК; обратная — с показателем УПС), временной критерий (ЧСС, Тизгн) и показатель тонуса сосудов (АДср).

В качестве расчетных показателей церебральной гемодинамики, помимо общепринятых критериев, были использованы разработанные ранее нами формулы количественного описания каждого параметра мозгового кровотока с помощью нескольких коэффициентов гармонического анализа (Долецкий А.Н., 2003) :

$$\text{Пульсовое кровенаполнение (балл)} = 23,07 + 1,75 \cdot A1 + 4,26 \cdot A2 - 16,11 \cdot F4$$

$$\text{Тонус крупных артерий (балл)} = 141,54 - 7,13 \cdot A4 - 11,47 \cdot A6$$

$$\text{Тонус мелких артерий (балл)} = 103,51 + 1,96 \cdot A1 - 11,04 \cdot A4 - 50,88 \cdot F2 + 16,39 \cdot F4$$

$$\text{Тонус вен (балл)} = 156,63 + 3,29 \cdot A1 - 8,37 \cdot A2 - 11,78 \cdot A5 + 14,71 \cdot F4$$

$$\text{Венозный отток (балл)} = 113,28 - 3,33 \cdot A1 + 7,04 \cdot A3 - 53,08 \cdot F1$$

Примечание: Во всех приведенных уравнениях коэффициенты A1-A6 и F1-F6 обозначали амплитуду и начальную фазу 1-6 гармоник соответственно.

Результаты корреляционного анализа показателей церебральной гемодинамики позволили исключить из последующей обработки показатели дикротический индекс (ДИ) и реографический диастолический индекс (РДИ), имевших сильную положительную корреляцию со значениями вено-артериального отношения (ВА), и показателя

максимальной скорости быстрого наполнения, имевшего (МСБН) аналогичную взаимосвязь с показателем «Реографический систолический индекс» (РСИ). Анализ корреляций параметров мозговой гемодинамики и полученных в результате факторного анализа методом главных компонент комплексных критериев показал, что церебральный кровоток характеризуется, по преимуществу, двумя факторами (табл. 3). Первый из них - центральный - включал показатели тонуса крупных артерий и величины пульсового кровенаполнения, то есть компонентов, прямо или опосредованно подчиненных центральному механизму сосудодвигательного контроля. Второй – региональный фактор - содержал параметры, характеризующие выраженность тонуса артерий мелкого калибра и вен, а также венозный отток. Подобные результаты были получены Кузнецовым В.А. (1999) на основании анализа реоэнцефалограмм с помощью «опорных» точек. Это свидетельствует о сопоставимости результатов автоматизированного гармонического и выполняемого вручную «стандартного» двухкомпонентного анализа реограмм по «опорным» точкам. Однако последний метод не приспособлен для работы в режиме реального времени (Зенков Л.Р., Ронкин М.А., 1991; Шток В.Н. с соавт., 1996).

Табл.3

Корреляции группы исследуемых показателей церебральной гемодинамики с результатами факторного анализа методом главных компонент (варимакс)

	Фактор 1	Фактор 2
Показатели контурного анализа реоэнцефалографических данных в покое		
Время начала реографической волны (ВНРВ)	0,30	0,23
Временной показатель сосудистого тонуса (ВПСТ)	-0,12	0,01
Амплитудный показатель сосудистого тонуса (АПСТ)	-0,13	-0,17
Средняя скорость медленного наполнения (ССМН)	-0,34	0,80
Время начала дикторической волны (ВНди)	0,32	0,44
Показатель замедленного кровенаполнения (ПЗК)	0,14	-0,17
Реографический систолический индекс (РСИ)	-0,43	0,82
Время анакроты (Тан)	0,08	0,04
Время катакроты (Ткт)	0,33	0,47
Вено-артериальное отношение (ВА)	0,84	0,27
Показатель венозного оттока (ВО)	0,31	-0,25
Индекс мозгового кровенаполнения (ИК)	-0,59	0,47
Объем мозгового кровенаполнения (Vмозг)	-0,56	0,29
Показатели гармонического анализа реоэнцефалографических данных в покое		
Объем пульсового кровенаполнения	-0,30	0,73
Тонус крупных церебральных артерий	0,24	-0,76
Тонус мелких церебральных артерий	0,77	0,29
Сопротивление сосудов микроциркуляторного русла	0,80	0,15
Венозное сопротивление	0,82	0,08
Венозный отток	-0,31	-0,59

Таким образом, в результате проведенного факторного анализа удалось сократить количество показателей биоэлектрической активности, вегетативного тонуса и гемодинамики, обладающих относительной автономностью. Вместе с тем большое число

полученных факторов не позволяет существенно сократить количество планируемых к управлению характеристик без учета реакции на психоэмоциональную нагрузку.

Проведенное на втором этапе моделирование эмоциональных реакций было направлено на выбор критериев, наиболее полно описывающих изменение уровня активации центральной нервной системы, тонуса вегетативной нервной системы, объемных и скоростных показателей сердечного выброса, уровня артериального давления и сосудистого сопротивления в диапазоне реакций «эмоциональный стресс – релаксация». Состояние эмоционального стресса моделировалось с использованием функциональной нагрузочной «пробы с падением», а для снижения психоэмоционального напряжения, то есть для моделирования полярного состояния, применялось прослушивание функциональной музыки.

Установлено, что показатели спектрального анализа ЭЭГ в континууме реакций «эмоциональный стресс – релаксация» достоверно различаются только по средней амплитуде высокочастотного ритма в бета-2 частотном диапазоне (рис. 1). Увеличение мощности данного показателя перед падением свидетельствует о выраженном психоэмоциональном напряжении, а снижение его мощности на фоне прослушивания функциональной музыки - о релаксации. При этом средние мощности ритмов альфа-, тета-диапазонов и их соотношения изменялись только при моделировании психоэмоционального напряжения, но не отличались от исходных значений при моделировании релаксации. Наряду с динамикой спектральных показателей, непараметрический критерий Вилкоксона также показывает достоверное снижение энтропийного показателя индекса Хёрста и коэффициента кросскорреляции в пробе с падением, что отражает снижение хаотизации, повышение упорядоченности в работе генераторов биоэлектрической активности при одновременном уменьшении взаимодействий между различными отделами головного мозга в состоянии психоэмоционального стресса.

С целью подтверждения генерализованного характера воздействия изменения функционального состояния на биоэлектрическую активность мозга выполнялся дисперсионный двухфакторный анализ амплитуды ритмов бета-диапазона, зарегистрированных в 19 стандартных монополярных электроэнцефалографических отведениях. Результаты анализа показывают большую значимость «фактора состояния», чем «фактора отведений». Таким образом, можно использовать предложенные средние значения амплитуды ритма бета-2 диапазона в любых электроэнцефалографических отведениях для оценки эмоционального состояния в континууме «стресс – релаксация» с последующим их применением в качестве управляемого параметра.

При оценке динамики показателей, характеризующих вегетативный тонус в предложенном континууме состояний, наиболее существенно изменялись показатели спектрального анализа HF, LF/HF и интегральный индекс напряжения (ИН). Высокочастотный компонент спектра (HF) в покое составил $241,9 \pm 21,3 \text{ мс}^2$ ($M \pm m$); в предстартовом состоянии он увеличился на 41,3%, а после падения - на 62,9% по сравнению с покоем (составил $556,6 \pm 186,4 \text{ мс}^2$).

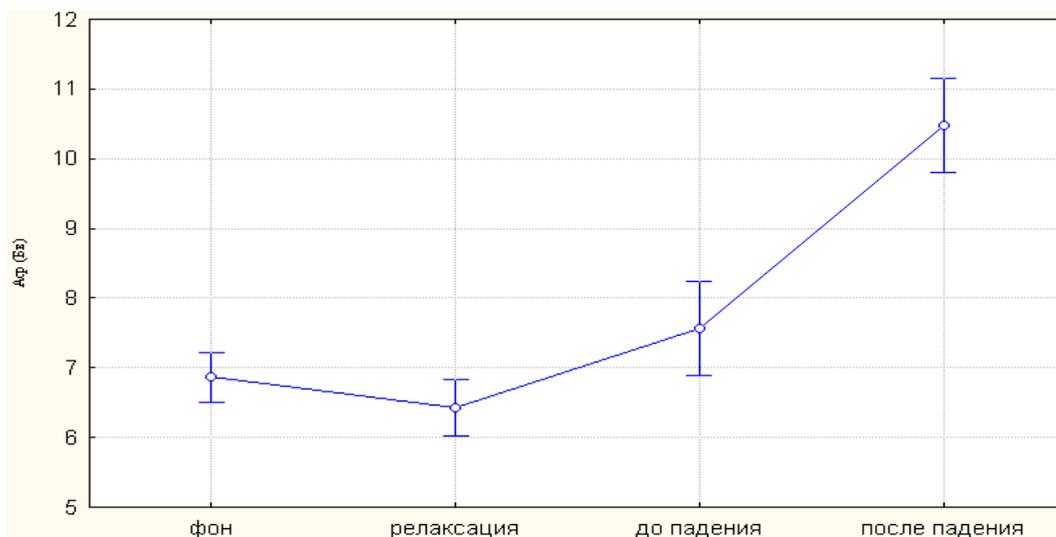


Рис. 1 Динамика средней амплитуды бета-2 ритма в континууме «стресс – релаксация».

Показатель соотношения низкочастотного компонента спектра к высокочастотному (LF/HF) в предстартовом состоянии увеличился до $4,3 \pm 0,26$ (на 102,3% больше), а после падения уменьшился до $0,8 \pm 0,09$ (на 62,8% меньше, чем в предстарте). Индекс напряжения регуляторных систем в покое составил $154,9 \pm 9,63$ усл.ед.; перед падением данный показатель значительно возрастал по сравнению с исходным состоянием - до $187,0 \pm 23,3$ усл.ед., после падения он снижался до $92,9 \pm 17,05$ усл.ед. Полученные изменения спектральных показателей при моделировании стрессовой ситуации демонстрируют усиление активности симпатического отдела ВНС. В пробе с релаксацией достоверно изменялось соотношение ИН, уменьшившись до $111,9 \pm 7,7\%$ (на 27,8%). Изменение показателей спектрального анализа сердечного ритма было недостоверно и заключалось в повышении HF на 6,1, а LF/HF — уменьшение на 8,7% соответственно. Данные результаты позволили использовать в сеансах адаптивного биоуправления критерий ИН, отражающий как увеличение активности симпатического отдела ВНС при моделировании стрессовой ситуации, так и снижение данной активности при моделировании релаксации.

Отсутствие достоверных различий между показателями системной гемодинамики в предложенном континууме психоэмоциональных состояний не позволило выделить единый параметр, подлежащий управлению с биологической обратной связью. В связи с этим, было решено исключить данные показатели, оказавшиеся высокоригидными к изменениям психоэмоционального состояния, из подлежащих управлению в сеансах адаптивного биоуправления критериев.

Изменения церебральной гемодинамики в пробе с падением по данным реоэнцефалографии включали снижение тонуса артерий крупного калибра при релаксации и увеличение — после падения (рис. 2). Таким образом, данный показатель является наиболее чувствительным в предложенном континууме психоэмоциональных состояний. Вместе с тем, изменение тонуса мелких артерий носило несколько отличный характер. Достоверно возрастая при моделировании психоэмоционального стресса в пробе с падением, данный показатель продолжал увеличиваться после окончания пробы (незначимо), свидетельствуя о более длительной реакции на эмоциональный стресс со

стороны резистивных сосудов, обеспечивающих внутримозговое перераспределение кровенаполнения.

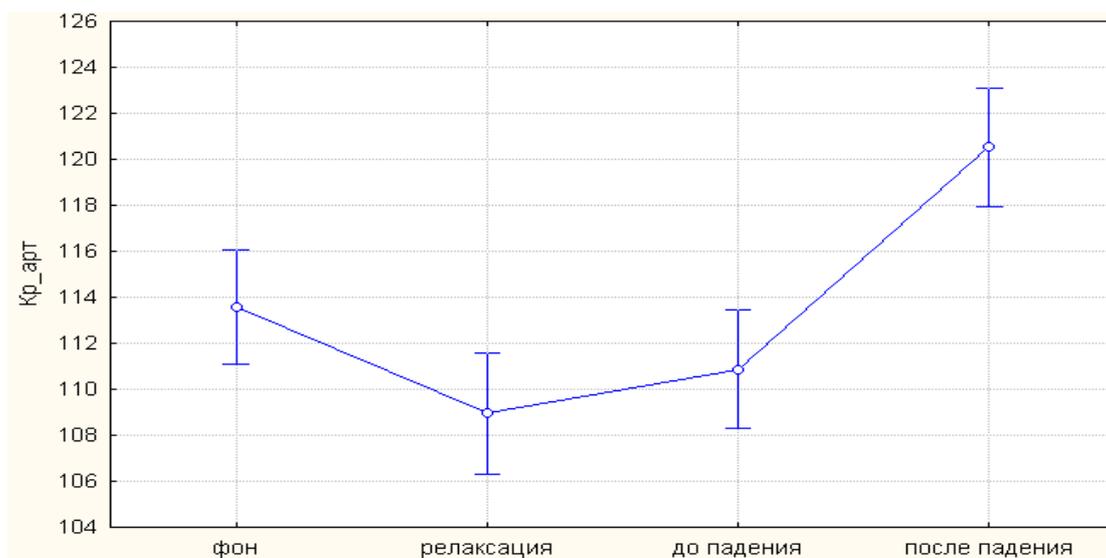


Рис. 2 Изменение тонуса церебральных сосудов крупного калибра (усл.ед.) в пробе с падением по данным реоэнцефалографии

Таким образом, исключение высокозависимых показателей, объединение результатов обследований в факторы и анализ динамики показателей, входящих в различные факторы, в континууме реакций «стресс-релаксация» позволили нам выбрать в качестве параметров управления биоэлектрической активностью головного мозга, активностью вегетативной нервной системы и церебрального сосудистого тонуса показатели средней амплитуды бета-2 диапазона ($A_{ср}$ бета-2), индекс напряжения (ИН) и тонус артерий крупного калибра ($Kp_{арт}$) соответственно. Выбранные показатели были использованы на следующем этапе для снижения эмоционального напряжения в сеансах адаптивного биоуправления с БОС в качестве управляемых параметров.

На третьем этапе проводилась оценка эффективности управления выбранными показателями с использованием БОС в группах контроля и риска развития стрессобусловленной дезадаптации. Перед проведением БОС-тренинга в данных группах проверялась однородность исходных показателей биоэлектрической активности, вегетативного обеспечения, церебральной гемодинамики и психоэмоционального статуса. Статистически достоверные различия между группами не отмечались. Вместе с тем, значения показателя «ситуативная тревожность» теста «Исследование тревожности» (опросник Спилбергера) в исследуемых группах составили $45,5 \pm 12,4$, $45 \pm 7,7$ и $43 \pm 7,1$ баллов в контрольной группе (студенты), группе врачей и психологов и группе сотрудников МЧС, соответственно. Согласно литературным данным, результаты в интервале 30-45 баллов свидетельствуют об умеренной, а свыше 46 баллов — о высокой тревожности (Щербатых Ю.В., 2001; Вейн А.М., Судаков К.В., Левин Я.И., 2003). Данное наблюдение соответствует предположению о том, что у работников стрессогенных профессий и у учащихся высших учебных заведений наблюдается повышенная тревожность и психоэмоциональное напряжение, что подтверждает целесообразность использования нелекарственных методов адаптации в данных группах. Также у сотрудников МЧС отмечается на 15% большая амплитуда биоэлектрической активности

бета-2 диапазона, чем в контрольной группе. Это характеризует испытуемых данной группы риска, как имеющих превалирование возбуждающих процессов в центральной нервной системе.

Известно, что пропорциональные формы подкрепления имеют гораздо большее значение в поведении человека, чем бинарный выбор «успех-неуспех» (Сороко С.И., Трубачев В.В., 2012). В связи с этим, в качестве критерия успешности была выбрана оценка продолжительности отклонения регулируемого показателя от его значения в состоянии покоя более чем на два стандартных отклонения (Долецкий А.Н., 2002). Для последующей обработки производилось укрупнение блоков анализируемых данных путем усреднения значений, полученных в трёх сеансах БОС. Проводился анализ успешности биоуправления на 3 этапах. В соответствии с эффективностью освоения навыков адаптивного биоуправления этапы были обозначены как начальный этап, этапы усвоения и закрепления навыка. Полученные результаты свидетельствовали о сходной динамике изменения регулируемых показателей в процессе обучения адаптивному биоуправлению с БОС в группе студентов (таблица 4).

Изменения, возникавшие в процессе биоуправления по показателям биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ-БОС), включали в себя снижение усредненных значений амплитуды высокочастотного диапазона бета-ритма ЭЭГ и увеличение продолжительности поддержания данного состояния до 9% от времени тренинга. Результаты адаптивного биоуправления с БОС по показателям вариабельности сердечного ритма (ВСР-БОС) и тонуса крупных церебральных артерий по данным реоэнцефалографии (РЭГ-БОС) были значительно более стабильны — сниженные относительно исходных, регистрируемых перед каждым тренингом, значения сохранялись к концу обучения в среднем в течении 34 и 42% времени, соответственно.

Табл.4

Динамика успешности биоуправления в группе студентов, % ($M \pm \delta$, n=30)

	ЭЭГ-БОС Аср бета-2	ВСР-БОС ИН	РЭГ-БОС Кр_арт
1. Начальный этап	4±1	11±4	13±9
2. Этап усвоения навыка	8±5	21±16	27±17
3. Этап закрепления навыка	9±3	34±18	42±21

В итоге проведенных 3 этапов биоуправления были достигнуты следующие результаты: у большинства успешных испытуемых снижение регулируемых показателей отмечалось уже на первом сеансе и стабильно присутствовало со второго; при анализе всех этапов отмечалась успешность прохождения БОС–тренинга, то есть изменения последовательно возрастали на трех этапах обучения.

В процессе тренингов с биологической обратной связью наблюдалось снижение активности в бета-2 диапазоне на $19,4 \pm 11,3\%$ ($M \pm \delta$), при этом испытуемые удерживали значения сниженными на протяжении $9,1 \pm 3,1\%$ от времени тренинга. Это свидетельствует о снижении выраженности активирующих процессов в центральной нервной системе. Произвольное управление индексом вегетативного напряжения сопровождалось

снижением ИН на $30,6 \pm 10,21\%$ и возможностью удержания отличающихся от предтренинговых значений в $33,8 \pm 12,92\%$ случаев, что соответствует уменьшению показателя активности симпатической нервной системы. Ещё более выраженная динамика наблюдалась при управлении показателем Кр_арт на третьем этапе обучения адаптивному биоуправлению: снижение составляло в среднем $45,5 \pm 20,68\%$, а длительность успешной регуляции - $42,2 \pm 20,6\%$, что соответствует уменьшению тонуса церебральных артерий крупного калибра.

Вместе с тем, полученные оценки успешности отличались значительной вариабельностью, что явилось основанием для поиска критериев разделения обследуемых на группы по успешности освоения навыков произвольной регуляции исследуемых параметров. При проведении корреляционного анализа между успешностью обучения биоуправлению и значением регулируемого показателя была выявлена значимая корреляция средней силы (коэффициент ранговой корреляции Спирмена $R=0,68$). Это свидетельствует о более выраженной успешности БОС-тренинга у лиц с высоким исходным значением регулируемого показателя. Проведение кластерного анализа по значениям суммарной длительности изменений регулируемых показателей позволило выделить группы, в которых к концу исследования средняя продолжительность изменения средней амплитуды высокочастотной биоэлектрической активности (Аср бета-2) составила 7,6, 4,3 и 1,2%, индекса вегетативного напряжения (ИН) – 28,3, 13,9 и 4,2% и тонуса крупных церебральных сосудов (Кр_арт) - 33,1, 7,9 и 1,0% соответственно. По способности к обучению регуляции контролируемых показателей группы были обозначены как «высокообучаемые», «среднеобучаемые» и «низкообучаемые» соответственно.

Динамика эффективности биоуправления в группах повышенного риска развития стрессобусловленной дезадаптации в целом соответствовала динамике регулируемых показателей в группе студентов. Однако отмечался ряд отличий — менее выраженная успешность снижения ИН и Кр_арт в группе врачей и психологов на этапе закрепления навыка биоуправления, достигавшая 21,1 и 23,5% соответственно (рис. 3). Также в группе сотрудников МЧС отмечалось преобладание эффективности управления выраженностью ИН над произвольной регуляцией остальными показателями. При этом в данной группе эффективность снижения амплитуды биоэлектрической активности мозга достоверно не отличалась от контрольной группы, а эффективность уменьшения тонуса крупных церебральных сосудов оказалась значительно сниженной ($p=0,016$).

При проведении корреляционного анализа между успешностью обучения биоуправлению и значением регулируемого показателя была выявлена значимая корреляция средней силы в 1 и 2 группах риска ($R=0,59$ и $R=0,63$, соответственно). Это свидетельствует о более выраженном эффекте БОС у лиц с исходно высоким значением регулируемого показателя.

Таким образом, в процессе БОС-тренинга происходила нормализация параметров, отражающих амплитуду высокочастотной биоэлектрической активности, выраженность симпатических влияний на сердечную деятельность и тонус крупных церебральных артерий. Это свидетельствовало о снижении активации в структурах лимбико-ретикулярного комплекса и симпатических влияний на сердечно-сосудистую систему.

Происходило уменьшение величины регулируемых показателей, тем более успешное, чем выше были их исходные значения. Данную особенность ряд авторов наблюдали при изменении биоэлектрической активности (Святогор И.А. с соавт., 2005; Дёмин Д.Б. с соавт., 2008) и уровня вегетативной регуляции (Wilder G., 1967).

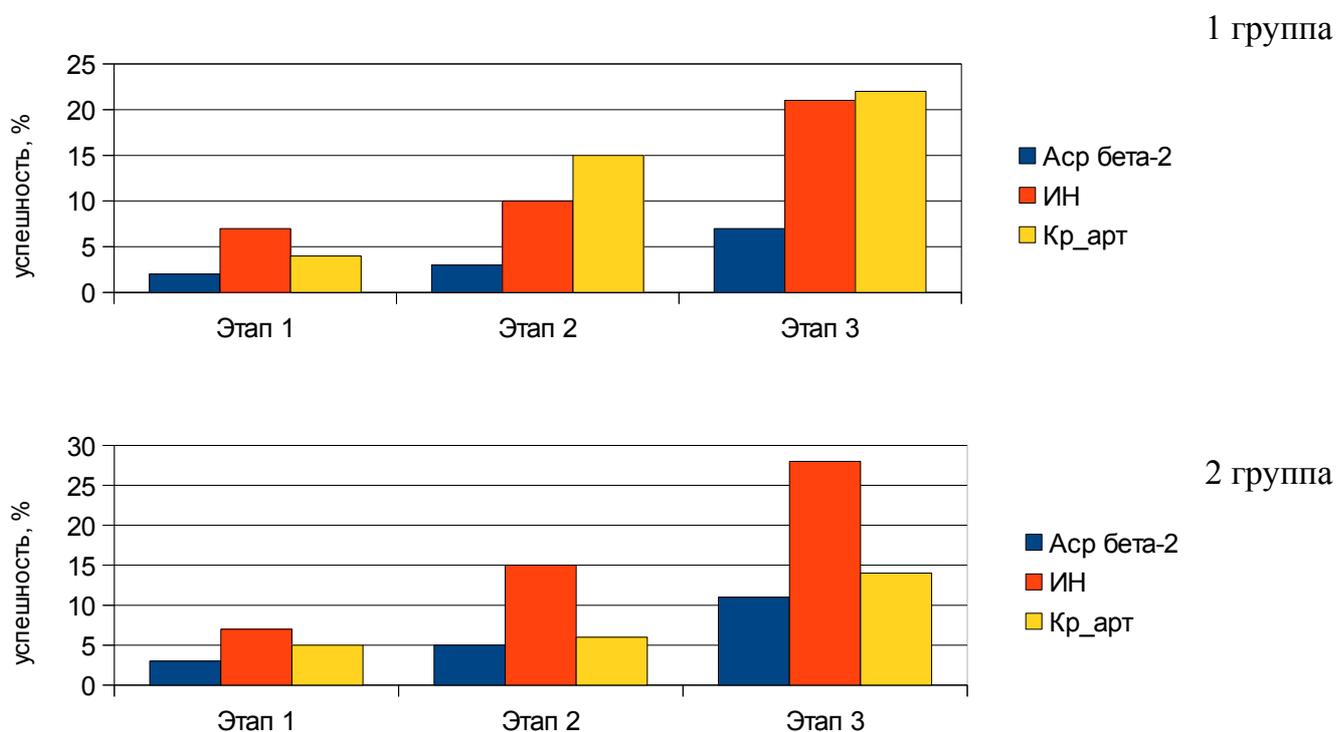


Рис. 3. Динамика эффективности биоуправления в группах повышенного риска развития стрессобусловленной дезадаптации. 1 группа - врачи, психологи; 2 группа - сотрудники МЧС.

Полученные нами результаты свидетельствовали о зависимости успешности БОС-тренинга от исходного уровня регулируемого показателя: чем выше исходная активность физиологического состояния, тем легче происходит ее уменьшение в процессе тренинга.

Результаты оценки эффективности адаптивного биоуправления в группах контроля и риска развития стрессобусловленной дезадаптации свидетельствуют о менее выраженной успешности управления мощностью биоэлектрической активности мозга (так называемого нейробиоуправления) и тонусом церебральных сосудов в группах риска. Вместе с тем, во всех группах на начальном этапе обучения биоуправлению отмечается более высокая эффективность управления индексом вегетативного напряжения. Данная особенность может отражать вовлечение дыхательного механизма управления. При увеличении респираторной синусовой аритмии закономерно происходит снижение ИН, что помогает быстрее осваивать именно обучение биоуправлению по показателю индекса вегетативного напряжения на начальном этапе БОС-тренинга (Гусева Н.Л., 2003; Wang S.Z. et al., 2010). Вместе с тем, на последующих этапах усвоения и закрепления навыка повышение эффективности управления показателями нейродинамики и церебральной гемодинамики более выражено в группе контроля. Данная особенность, наиболее вероятно, связана с психофизиологическими особенностями групп риска,

заклучавшимися в более быстром угасании интереса к методике, снижением комплаентности при отсутствии быстро достижимого результата в группах работающих лиц. Предположение об обратной зависимости успешности обучения саморегуляции и уровнями толерантности к неопределенности, интеллектуальной пластичности также находит подтверждение в литературных данных (Мажиринa К.Г., 2009).

Прогнозирование успешности эффективности БОС-тренинга

На следующем этапе проводилась проверка гипотезы о зависимости успешности управления биоэлектрической активностью, вегетативным балансом и тонусом церебральных сосудов от индивидуальных психофизиологических особенностей. Поскольку ранее было показано отсутствие значимых различий по нейрофизиологическим показателям между группами контроля и риска, данные группы были объединены для последующего анализа. Из полученной выборки выделены высоко-, средне- и низкоуспешные при обучении адаптивному биоуправлению с БОС лица, согласно результатам проведенного ранее кластерного анализа. Для оценки влияния индивидуальных психофизиологических особенностей на успешность обучения БОС был использован метод попарного сравнения несвязанных выборок, позволяющий свести к минимуму влияние на анализируемую связь остальных показателей.

Сравнительный анализ групп с различной успешностью при обучении ЭЭГ-БОС выявил отсутствие значимых различий по данным психологического тестирования. Предиктором эффективности тренинга являлась мощность тета-ритма, имевшая в высоко-, средне- и низкоуспешной группах среднее значение 16,6, 13,6 и 17,1 мкВ² соответственно. Успешность тренинга также зависела от амплитуды уровня постоянного потенциала головного мозга (6,1, 9,4 и 12,1 усл.ед.) и значения мощности бета-2 активности (16,0, 12,5 и 12,8 усл.ед., соответственно).

В личностном профиле группы лиц, низкоуспешных при обучении ВСП-БОС, имеет место статистически недостоверное увеличение значений по шкалам демонстративности (Нy), импульсивности (Pd), а так же уровня тревожности (Pt) ММРІ. Выявленное повышение значений по указанным шкалам свидетельствуют о возможном наличии у лиц данной группы признаков эмоциональной лабильности и затруднений в социальных контактах. В беседе с проводящим обследование лица низкоуспешной группы сообщали, что основной их целью было не достижение состояния релаксации как такового, а желание выполнить инструкцию только с расчетом на внешний эффект. Низкая успешность обучения саморегуляции с БОС также сопровождалась преобладанием выраженности биоэлектрической активности в альфа- и бета-1 диапазонах (рис. 4). Показатели мощности дельта-активности, индекс вегетативного напряжения (ИН) и результаты тестирования вегетативного тонуса в группе с низкой успешностью обучения, напротив, были наименьшими.

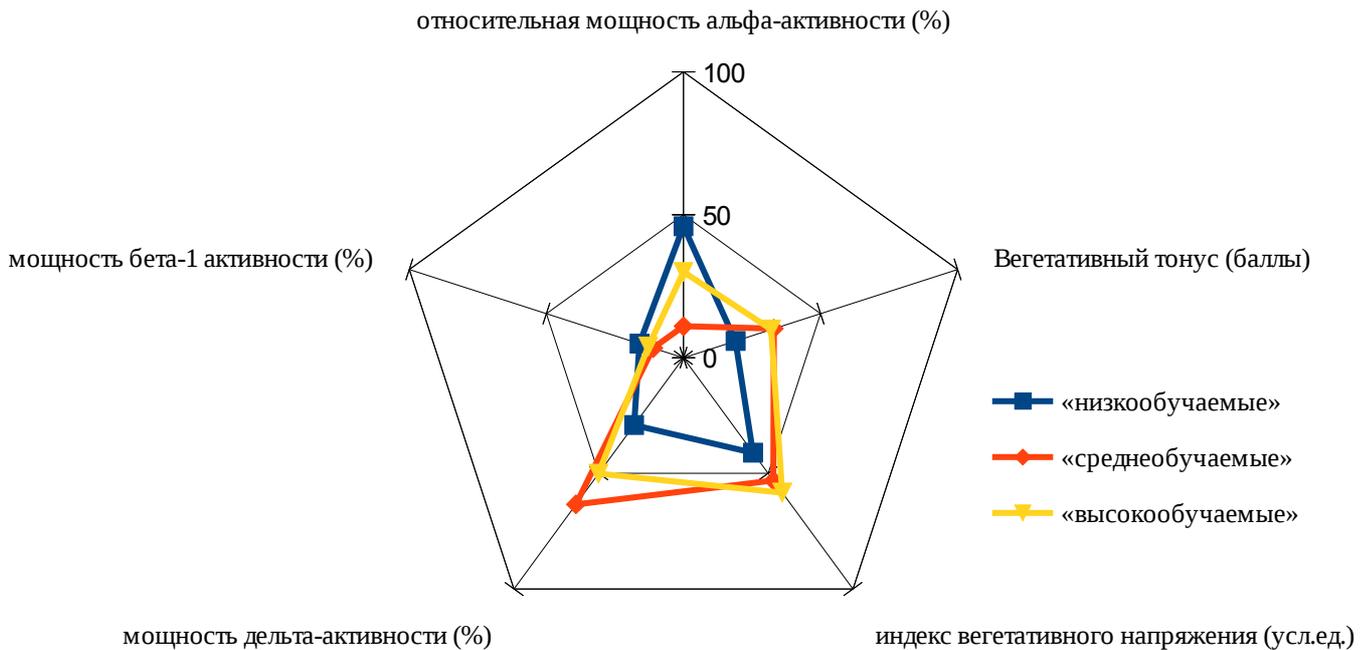


Рис.4. Исходные значения нейрофизиологических критериев в группах с различной успешностью обучения адаптивному биоуправлению с ВСП-БОС.

При обучении РЭГ-БОС было отмечено наличие более высоких результатов по шкале гипертимности (Ma) ММРІ у «высокообучаемых» лиц по сравнению с лицами, показавшими среднюю обучаемость биоуправлению и тенденция к преобладанию более высоких значений Ma по сравнению с группой низкообучаемых, не достигающая, однако, уровня значимости (рис. 5). Повышенные значения по шкале Ma в группе «высокообучаемых» свидетельствуют о том, что для лиц этого типа характерны эмоциональная яркость, гедонистический настрой, реалистическое, образное мышление и отсутствие приверженности к жесткой схеме поведения (Березин Ф.В., 1988). Лица, относящиеся к группе «высокообучаемых», имели наибольшую выраженность амплитуды компонента P3 когнитивных вызванных потенциалов (ВП), что свидетельствует о связи успешности обучения управлению тонусом церебральных сосудов с нейрофизиологической характеристикой способности к произвольному удержанию внимания и обработке информации (Lutz A. et al., 2009). Одновременное увеличение мощности дельта-активности ЭЭГ и латентности раннего вызванного ответа на зрительную стимуляцию (компонента P1) в группе «неуспешных» свидетельствует о затруднении процессов дифференцировки и опознания сигналов, снижении уровня внимания (Higuchi S., et al. 2000). Показатели вегетативного напряжения (ИН) и индекс вегетативного равновесия в группе с низкой успешностью обучения, напротив, были наименьшими.

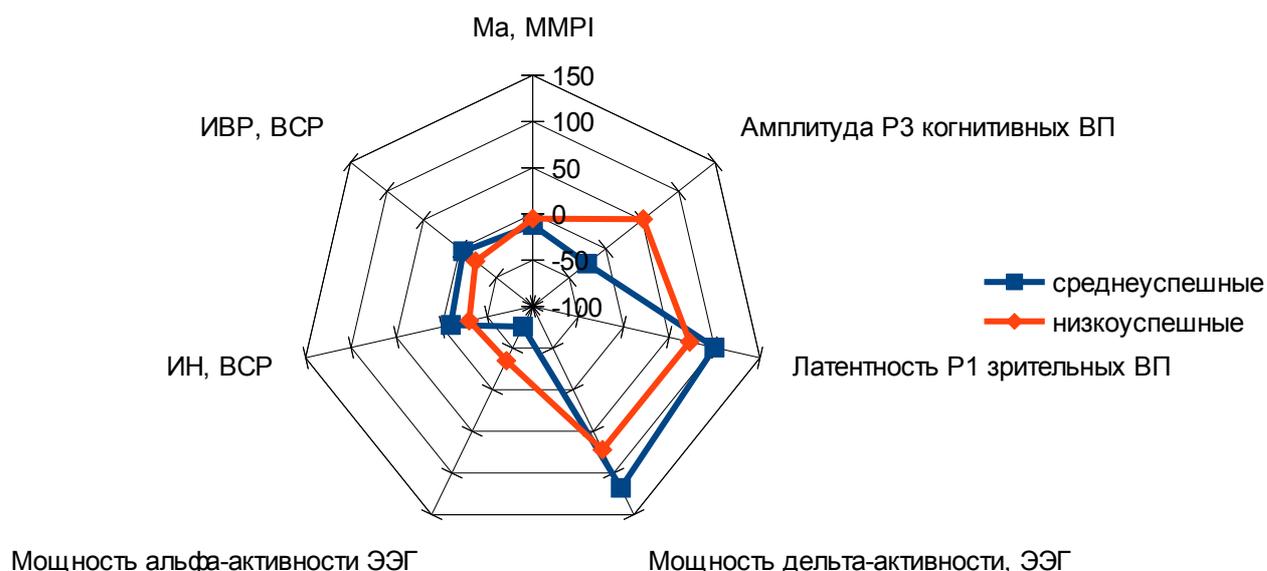


Рис.5. Отличие предтренировочных значений нейрофизиологических критериев от показателей в высокоуспешной группе обучения адаптивному биоуправлению с РЭГ-БОС (%).

Таким образом, было показано, что учёт индивидуальных психофизиологических особенностей может использоваться для прогнозирования успешности обучения адаптивному биоуправлению с БОС. При этом роль субъективных, психофизиологических критериев невысока. Отмечается прямая зависимость успешности обучения от исходного уровня регулируемого параметра (для методик ЭЭГ-БОС и ВСП-БОС). Также прогностической ролью обладает выраженность показателей, условно относящихся к группе «эмоциогенных», отражающих степень индивидуальной тревожности - высокие значения дельта, тета, бета-1 активности, низкая выраженность альфа-активности (Стрелец В.Б., Данилова Н.Н., Корнилова И.В., 1997; Умрюхин Е.А. с соавт., 2005). Для данной группы показателей характерна нелинейная связь с эффективностью освоения навыков саморегуляции с использованием БОС. Гораздо стабильнее выглядит обратная зависимость между успешностью обучения адаптивному биоуправлению с БОС и показателем уровня постоянного потенциала, характеризующим церебральный энергообмен (Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., 2001-2002). Также к высокоспецифичным прогностическим признакам высокая степень активности симпатической нервной системы, измеряемая при помощи оценки variability сердечного ритма. Интересным прогностическим признаком, не встречавшимся в литературе, явились амплитуда когнитивного (P3) и латентность раннего зрительного (P1) вызванного ответа. Данные показатели имели соответственно сильную положительную ($R=0,91$) и сильную отрицательную ($R=-0,86$) корреляцию с успешностью освоения навыков саморегуляции с использованием РЭГ-БОС.

Далее для повышения эффективности обучения биоуправлению с БОС была проанализирована зависимость успешности от используемых стратегий. С этой целью были рассчитаны частоты использования различных стратегий на этапе закрепления навыка адаптивного биоуправления с БОС.

Наиболее эффективными в управлении всеми регулируемыми параметрами оказались стратегии релаксации — дыхание с частотой 6-12 дыхательных движений (ДД) в минуту, что подтверждается наибольшей встречаемостью данной стратегии в группе высокоуспешных при обучении адаптивному биоуправлению с БОС лиц (см. таблицу 5).

Табл. 5

Частота использования различных стратегий релаксации при обучении управлению с БОС в зависимости от успешности обучения

индивидуальная стратегия релаксации	высокообучаемая	среднеобучаемая	низкообучаемая
ЭЭГ			
счет в уме	0	11	2
прослушивание музыки	8	17	30
медитация	15	14	13
4-6 ДД в минуту	24	14	8
6-12 ДД в минуту	40	15	10
12-16 ДД в минуту	13	17	14
не знаю	0	12	23
итого	100	100	100
РЭГ			
4-6 ДД в минуту	34	16	21
6-12 ДД в минуту	53	19	15
12-16 ДД в минуту	12	14	14
счет в уме	-	2	6
прослушивание музыки	-	19	16
медитация	1	22	11
не знаю	-	8	17
итого	100	100	100
КИГ			
медитация	21	17	8
прослушивание музыки	3	9	24
4-6 ДД в минуту	9	21	20
6-12 ДД в минуту	56	19	14
12-16 ДД в минуту	11	17	16
не знаю	0	17	18
итого	100	100	100

Отмечается чётко выраженная связь успешности обучения БОС с использованием произвольного контроля дыхания. Значимость дыхательного контроля для снижения эмоционального напряжения находит подтверждение в работах Сметанкина А.А. (1999), Целуйко В.М., Павловой Т.Л. (2002), указывающих, что использование дифференцированных регламентированных дыхательных упражнений позволяет целенаправленно восстанавливать координацию между симпатической и парасимпатической частями вегетативной нервной системы. Это, наиболее вероятно, и

является основой достижения эффектов самоуправления показателями нейродинамики, вегетативного тонуса и церебрального кровообращения.

Вместе с тем, рассматривая сдвиги паттерна дыхания, наступающие в процессе биоуправления, необходимо отметить весьма существенную общую закономерность: испытываемые, как правило, одновременно с удлинением фаз дыхательного цикла, то есть урежением дыхания, осуществляли увеличение дыхательного объема. Очевидно, что в этом проявляется одна из важнейших особенностей центрального дыхательного механизма - стабилизация уровня альвеолярной вентиляции (при условии постоянства интенсивности обменных процессов), в силу чего урежение дыхания в процессе БОС-тренинга обязательно сопряжено с его углублением (Норматов А.Т., 1984). Оптимизирующее влияние частоты дыхания на показатели нейродинамики, вегетативного баланса и тонуса церебральных сосудов находится в диапазоне средних значений использовавшихся дыхательных ритмов.

Сравнение эффективности БОС и резонансного сенсорного воздействия

Целью данного этапа исследования явилась проверка гипотезы о роли ритмозадающей стимуляции в эффективности изменения регулируемых параметров (резонансной теории). Из работ Дмитриевой Н.В. (2004), Федотчева А.И. с соавт. (2009) известно, что не только резонансное дыхание, но и ритмическое сенсорное воздействие в диапазоне основных частот биоэлектрической активности способны приводить к изменению функционального состояния нервной системы. Нами проводилось сравнение выраженности изменений биоэлектрической активности мозга под действием адаптивного биоуправления с БОС и резонансного сенсорного воздействия. В качестве последнего выбрали модели ритмической фото- и фоностимуляции с частотой, сопоставимой с основными частотами биоэлектрической активности мозга. Поскольку звуковосприятие на частотах ниже 20 Гц ограничено особенностями работы слухового анализатора, проводилось моделирование его сенсорной стимуляции с помощью бинаурального звукового воздействия различающимися на 5-15 Гц частотами (с помощью «бинауральных биений»).

Особенности индивидуальной динамики показателей ЭЭГ в процессе БОС-тренингов свидетельствуют о снижении исходно повышенной мощности в дельта-диапазоне и повышении выраженности альфа- и тета-активности у «высокообучаемых» лиц, независимо от используемой методики тренинга. Это отражает повышение синхронизации в работе различных отделов коры головного мозга. Вместе с тем, изменения медленноволновой активности имеют межполушарную асимметрию, локализуясь преимущественно в правой гемисфере, и могут рассматриваться в качестве физиологических коррелятов повышения результативности переработки зрительной информации (Умрюхин Е.А. с соавт., 2003). Изменения биоэлектрической активности в группах «среднеобучаемых» и «низкообучаемых» лиц были слабо выражены и заключались преимущественно в увеличении альфа-активности в затылочных отведениях, что можно объяснить неспецифической адаптацией.

Регистрировавшаяся во время ритмической сенсорной стимуляции ЭЭГ сравнивалась с фоновой записью, а также с изменениями биоэлектрической активности

мозга, возникающими в процессе БОС-тренинга. При сравнительном анализе фоновой ЭЭГ и регистрировавшейся в процессе бинауральной звуковой стимуляции, было установлено снижение синхронизации низкочастотной активности (уменьшение корреляции в дельта-диапазоне и снижение когерентности в дельта- и тета-диапазонах) в лобных отведениях с одновременным увеличением кросскорреляции альфа- и бета-активности, более выраженным в затылочных областях. Происходит однонаправленное изменение анализируемых показателей ЭЭГ для всех режимов воздействия бинауральными биениями, наиболее выраженное при бинауральной стимуляции в бета-диапазоне, наименее выраженное — при стимуляции в дельта-диапазоне. В целом подобная динамика может характеризовать изменение уровня активации ЦНС в сторону его повышения. Вместе с тем, амплитудные характеристики биоэлектрической активности достоверно не отличались от исходного уровня, воздействие на «резонансной» частоте, соответствующей доминирующей частоте индивидуального альфа-ритма, имело меньшую выраженность, чем высокочастотное воздействие.

Анализ изменений биоэлектрической активности в процессе ритмической фотостимуляции на частотах альфа-ритма выявил, что значимо изменялся только показатель автокорреляции, численное значение которой нелинейно менялось в зависимости от частот фотостимуляции. При фотостимуляции на частотах 3 - 6 Гц наблюдалось увеличение автокорреляции (до 0,83), при стимуляции частотой от 6 до 9 Гц отмечался спад показателя до 0,63. Наибольшее значение автокорреляции – 0,85 (при частоте ритмической фотостимуляции 10 Гц). Дальнейшее увеличение частоты до 18 Гц приводило к снижению среднего уровня корреляции до 0,68. Усиление временной синхронизации биоэлектрической активности (автокорреляции) отражает повышение синхронизации и снижение автономности в работе головного мозга. Данные изменения наиболее характерны для состояния сниженной функциональной активности мозга, в том числе - релаксации (Горев А.С., 2007).

Выявленные особенности свидетельствуют о роли резонансных процессов в эффективности управления биоэлектрической активностью головного мозга. Общеизвестно, что активирующая таламокортикальная система мозга аккумулирует восходящие полимодальные афферентные потоки и является источником адаптационных тонических влияний, корригирующих состояние разных отделов центральной нервной системы. При этом энергия колебаний, как наиболее простая форма аккумуляции энергии, используется для формирования фонового уровня активации. Это наиболее ярко отражается в неспецифической активации, усиливающейся с увеличением частоты бинаурального звукового воздействия, и имеющей линейный характер зависимости от частоты (мощности) сенсорного воздействия. Более значительные сдвиги, отмечавшиеся при совпадении частот фотостимуляции и доминирующей альфа-активности, подтверждают функциональные свойства активирующей системы мозга как совокупности осцилляторов, формирующей так называемые «артифициальные стабильные функциональные связи» (Смирнов В.М. с соавт., 1979; Бондарь А.Т., Федотчев А.И., 2000). Вместе с тем, неизменность амплитудных и мощностных характеристик ЭЭГ свидетельствует о меньшей роли сенсорного резонансного воздействия в регуляции биоэлектрической активности.

Сравнение нейрофизиологических характеристик различных видов релаксации

Задачей следующего этапа явилось сравнение локализации биоэлектрической активности, возникающее в процессе адаптивного биоуправления с БОС и медитации, с целью проверки гипотезы о наличии нескольких механизмов немедикаментозной релаксации.

Осуществлялся поиск источников биоэлектрической активности в группах обучившихся самоуправлению с использованием БОС и релаксационной медитации. Для этого был использован анализ электроэнцефалограмм, записанных до и после сеансов БОС, с помощью методов ЭЭГ-томографии низкого разрешения – LORETA (Pascual-Marqui R.D., 1995-1999) и поиска источников биоэлектрической активности BrainLoc (© ООО «Нейрософт», 2004-2012). Для анализа использовались свободные от артефактов 20-секундные участки ЭЭГ и узкополосная фильтрация в альфа-, бета- и тета-диапазонах.

В процессе БОС-тренинга по показателям церебральной гемодинамики происходит снижение генерализации активности, формирование более выраженного фокуса в затылочных областях коры с правосторонним градиентом. Причем, локализация превалирующих генераторов биоэлектрической активности в затылочных областях была характерна даже для лиц с десинхронным типом ЭЭГ.

Вместе с тем, при локализации источников доминирующей альфа-активности с помощью узкополосных спектров отмечается особенность, характерная для всех БОС-модальностей: при использовании произвольного контроля дыхания в качестве стратегии эффективного самоуправления с БОС большинство единичных диполей, характеризующих моментальные источники биоэлектрической активности, локализовались в срединных отделах мозга (рис. 5). Это подтверждает имеющиеся данные о роли неспецифических структур ствола мозга и ассоциативных таламо-кортикальных систем в совместном обеспечении процессов подкорково-корковой интеграции и характеризует стволовые образования как наиболее постоянный нейрофизиологический субстрат адаптивного биоуправления с БОС (Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н., 2007).

В то же время для лиц, занимавшихся медитацией, исходно была характерна диффузная активность с выраженной асимметрией распределения биопотенциалов до и после сеанса. Однако в процессе медитации наблюдалось значимое увеличение мощности альфа-ритма, мощности и частоты тета-активности по сравнению с исходными значениями, что соответствует наблюдавшимся в процессе БОС-тренинга изменениям. Подобные изменения характерны для быстро развивающейся синхронизации БЭА, сопровождающего снижение функциональной активности мозга. После окончания сеанса релаксации отмечалась тенденция к восстановлению частоты и мощности ритмов. На следующем рисунке представлены результаты локализации биоэлектрической активности до и в процессе медитации (рис. 6а и 6б, соответственно).

Приведенные результаты свидетельствуют о сходном вовлечении неспецифических активирующих срединных структур мозга в реализацию процессов релаксации с БОС, ритмической сенсорной стимуляции. Также была показана наибольшая эффективность ритмических дыхательных упражнений при обучении саморегуляции с БОС.

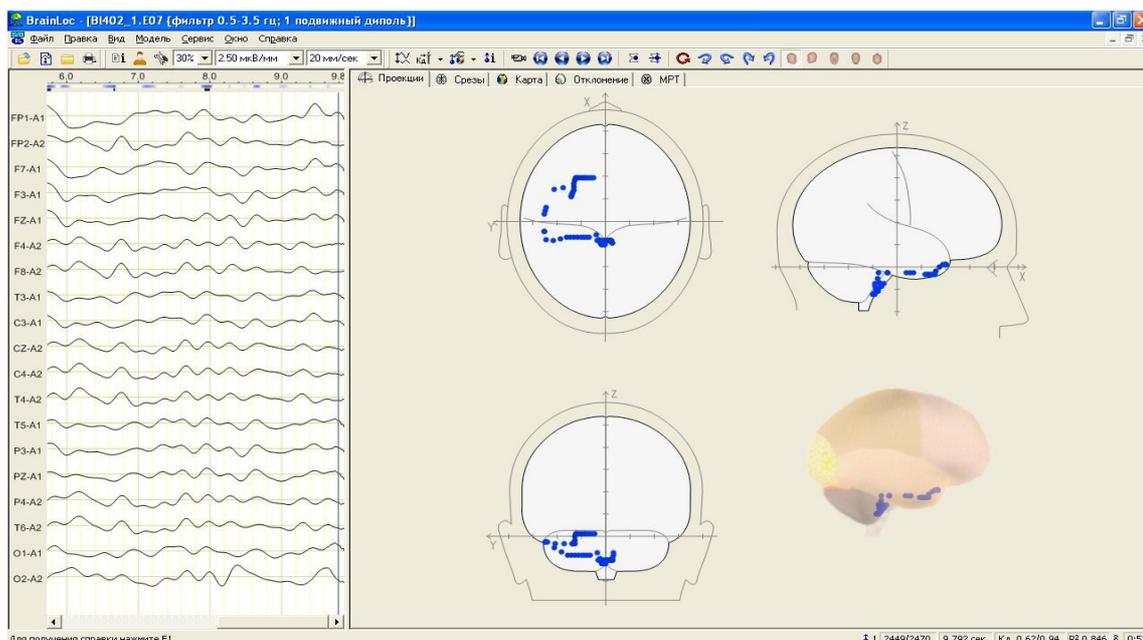
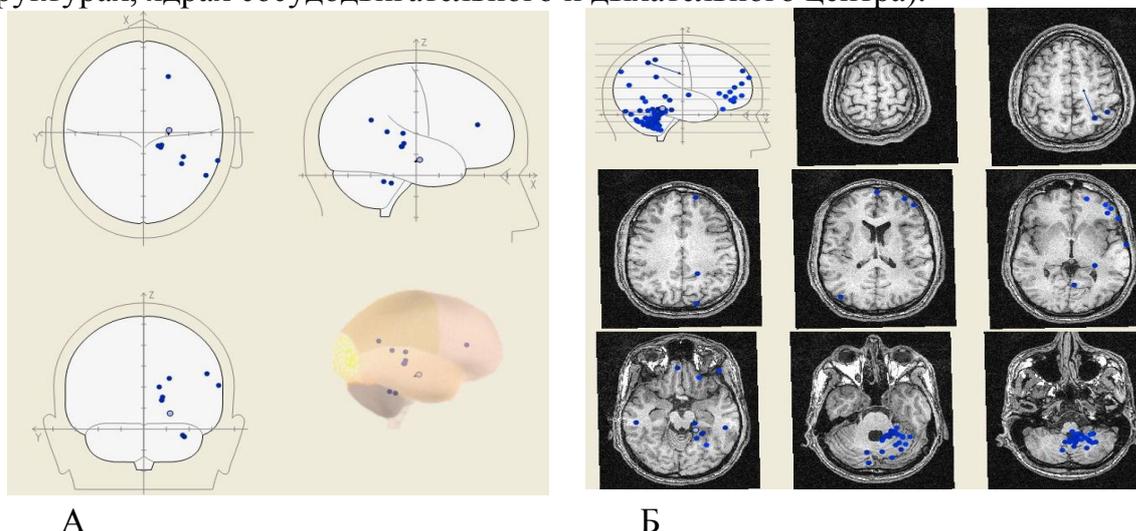


Рис. 5. Локализация источников активности частоты 11-13Гц у высокоуспешной испытуемой Т. в процессе БОС-тренинга по вариабельности сердечного ритма с ведущей стратегией релаксации — «дыхание с частотой 6 в минуту». Модель: один подвижный диполь. Коэффициент дипольности 0,99.

На основании вышеизложенного была выдвинута резонансная гипотеза релаксации, согласно которой при совпадении частот изменения дыхания, биоэлектрической активности мозга, сердечного ритма и сосудистого тонуса происходит усиление активности в вовлекаемых в резонансный ответ структурах (таламических пейсмейкерных структурах, ядрах сосудодвигательного и дыхательного центра).



А

Б

Рис.6. Локализация источников активности частоты 11-13Гц у испытуемой Т. в состоянии спокойного бодрствования (А) и медитационной релаксации (Б). Модель: один подвижный диполь. Коэффициент дипольности 0,99.

Резонансный характер изменений показателей биоэлектрической активности мозга, выраженности вегетативных влияний на сердечный ритм и тонуса церебральных сосудов может быть обусловлен следующими механизмами: изменением уровня мембранной

возбудимости нейронных систем за счет усиления афферентных потоков; направленной активацией стресслимитирующих систем с закреплением позитивных эффектов за счет нормализации системного гомеостаза; активацией неспецифических активирующих систем головного мозга, приводящей к активации существующего, но неэффективно функционирующего синаптического аппарата нейронов; разрушением устойчивого динамического стереотипа и формированием нового, более оптимального состояния регуляторных систем.

Вместе с тем, литературные данные свидетельствуют о наличии резонансных взаимоотношений между показателями дыхания и сердцебиения, сердечного ритма и пульсового кровенаполнения только в диапазоне частот менее 1 Гц (Бразовская Н.Г., 2002; Киселев А.Р. с соавт., 2007; Ringwood J.V., Malpas S.C., 2001). При этом выраженность сверхмедленных колебательных процессов (колебания с частотой менее 1 Гц) отражает состояние стресс-реализующих систем и активность метаболических процессов в различных органах и системах (Фокин В.Ф., 2001, 2002). Исходя из этого, на следующем этапе было проведено исследование синхронизации сверхмедленной активности (СМА) в нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системах в зависимости от использовавшихся методов коррекции психоэмоционального состояния. После проведения сеансов обучения релаксации безартефактные фрагменты ЭЭГ, ВСР и РЭГ записей продолжительностью одна минута транспонировались в формат программы «MatLab», где с помощью модуля EEGLAB проводилось преобразование Фурье, выполнялась оценка встречаемости частот в диапазоне от 0,07 до 1 Гц.

Исследование динамики СМА нервной и сердечно-сосудистой систем при медитативной релаксации выявило неспецифический характер изменений, выражающихся в усилении СМА более чем в 1,5 раза по сравнению с покоем на частотах 0,31, 0,44, 0,62 и 0,87 Гц при значительном снижении представленности частот кардиореспираторной синхронизации (0,13-0,2 Гц) и частоты 0,5 Гц. Вместе с тем, при БОС-тренинге отмечалось увеличение СМА во всем диапазоне исследованных частот. При этом отмечались как совпадающие для медитации, БОС-тренинга (на частотах 0,31, 0,44, 0,56, 0,62 и 0,87 Гц), так и разнонаправленные сдвиги, наиболее выраженные на частотах 0,13, 0,19 и 0,94 Гц. Характерно, что отмечавшееся в процессе БОС-тренинга увеличение СМА в диапазоне 0,13-0,19 Гц было сонаправлено изменениям, возникавшим при ритмическом навязанном дыхании. Показательным является резонансное увеличение биоэлектрической активности на частотах 0,13 и 0,19 Гц при дыхании в навязанном ритме 6 и 12 раз в минуту (0,1 и 0,2 Гц, соответственно). Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о вовлечении кардиореспираторной синхронизации в изменение биоэлектрической активности только при релаксации с помощью адаптивного биоуправления.

Частоты 0,31, 0,44, 0,62 и 0,87 Гц встречались как при регистрации активности нервной, так и сердечной и сосудистой систем. Вместе с тем, отмечались частоты синхронизации, характерные только для мозговой гемодинамики – 0,37 и 0,69 Гц. При сравнении представленности в лобных и затылочных отведениях ЭЭГ различий в частоте встречаемости не было выявлено. Колебания 0,37-0,94 Гц по длительности занимают промежуточное между пульсовыми и дыхательными волнами положение, что позволяет исключить гемодинамический или дыхательный характер данных колебаний.

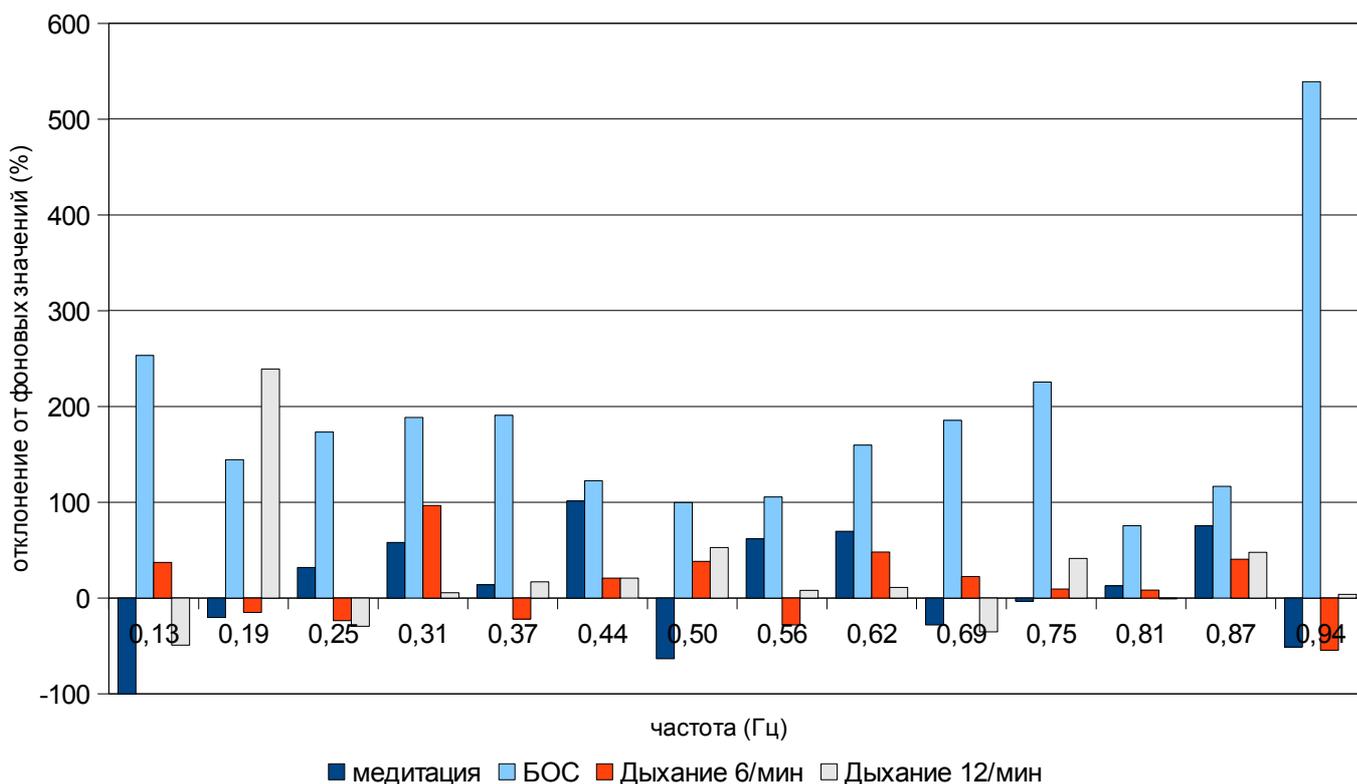


Рис.8. Динамика сверхмедленной активности при различных видах релаксации

Полученные результаты могут быть связаны с формированием детерминанты, которая представлена комплексом регуляторных структур, изменяющих степень активности дыхательного центра, оказывающих тоническое воздействие на нейродинамику, показатели сердечного ритма и сосудистого тонуса. Это согласуется с результатами фундаментальных исследований связи сверхмедленных физиологических процессов головного мозга с выраженностью психической деятельности и адаптации различных систем организма (Черний В.И. с соавт., 2003; Бойцова А.А., 2007; Филлипов И.В. с соавт., 2010-2012).

Установлено, что выраженность СМА отражает состояние стресс-реализующих систем и механизмов компенсации метаболических сдвигов, в том числе кислотно-основного, газового и электролитного гомеостаза на органном и организменном уровнях (Заболотских И.Б., Илюхина В.А., 1998; Илюхина В.А., 1999). Это находит подтверждение и в литературных данных о роли в сверхмедленной электрической активности головного мозга определенных структур подкорки: супраоптической области гипоталамуса, перивентрикулярных ядер, дорсомедиального ядра таламуса и гиппокампа (Аладжалова Н.А., 1979). Таким образом структуры, которым свойственны сверхмедленные колебания потенциала, находятся преимущественно в области гипоталамуса – нейрогуморального образования, обеспечивающего различные приспособительные реакции (в том числе и в условиях психоэмоционального стресса). Установлено, что выраженность СМА позволяет оценивать функциональное состояние нервной и сердечно-сосудистой систем.

ВЫВОДЫ

1. Обобщающим нейрофизиологическим механизмом, обеспечивающим эффективное адаптивное биоуправление, является активация неспецифических структур ствола мозга и ассоциативных таламо-кортикальных связей по резонансному принципу. Физиологические механизмы обеспечения эффективности произвольной коррекции психоэмоционального состояния связаны с формированием детерминанты, которая представлена комплексом регуляторных структур, изменяющих степень активности дыхательного центра, оказывающих нормализующее воздействие на нейродинамику, показатели сердечного ритма и сосудистого тонуса.

2. Сокращение количества используемых показателей и выбор независимого интегративного критерия, имеющего наибольшую изменчивость в условиях физиологического покоя и достоверно отражающего сдвиги психоэмоционального состояния, позволяет увеличить чувствительность к изменениям со стороны деятельности регулируемых систем в процессе БОС-тренинга и повысить мотивацию к использованию метода.

3. Оптимальными для снижения эмоционального напряжения параметрами адаптивного биоуправления с БОС по данным нейрофизиологических показателей биоэлектрической активности головного мозга, тонуса вегетативной нервной системы и характеристик церебральной гемодинамики в континууме реакций «стресс-релаксация» являются показатели средней амплитуды бета-2 диапазона, индекса вегетативного напряжения и тонуса артерий крупного калибра соответственно.

4. Обязательными составляющими алгоритма оценки устойчивости изменения регулируемого показателя в процессе БОС-тренинга по нейрофизиологическим, вегетативным и гемодинамическим параметрам должны быть оценка выраженности и продолжительности фиксации достигнутых сдвигов.

5. Использование дыхательного контроля для обеспечения оптимальной частоты дыхания позволяет целенаправленно восстанавливать координацию между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы и является основой повышения эффективности адаптивного самоуправления с БОС по показателям нейродинамики, вегетативного тонуса и церебрального кровообращения.

6. Сравнительная оценка эффективности адаптивного биоуправления в группе повышенного риска развития стрессобусловленной дезадаптации свидетельствует о большей выраженности способности к управлению показателями вегетативного тонуса, чем мощности биоэлектрической активности мозга и тонуса церебральных сосудов. Обучение навыку дыхательного контроля позволяет наиболее эффективно модифицировать управляемые параметры при тренинге с биологической обратной связью.

7. В основе позитивной динамики показателей уровня биоэлектрической активности головного мозга в процессе БОС-тренинга у «высокообучаемых» лиц, независимо от используемой методики адаптивного биоуправления, лежат повышение синхронизации в работе отделов головного мозга и сопутствующее ей увеличение интенсивности переработки зрительной информации. Изменения биоэлектрической активности в группах «среднеобучаемых» и «низкообучаемых» лиц ограничиваются свойственным состоянию

сниженной функциональной активности мозга увеличением альфа-активности в затылочных отведениях.

8. Прогностически значимыми для определения индивидуальной способности к обучению произвольному управлению параметрами нейродинамики, вегетативного тонуса и церебральной гемодинамики с БОС у «высоко-», «средне-» или «низкообучаемых» лиц являются высокие значения дельта, тета, бета-1 активности и низкая выраженность альфа-активности, отражающие степень индивидуальной тревожности, низкий уровень постоянного потенциала, характеризующего церебральный энергообмен, высокие значения выраженности индекса вегетативного реагирования, отражающие степень активности симпатической нервной системы, высокая амплитуда когнитивного (P300) и низкая латентность раннего зрительного (P1) вызванного ответа.

9. Единство механизма, лежащего в основе эффективного биоуправления, демонстрируется сходным вовлечением неспецифических церебральных активирующих срединных структур в реализацию процессов релаксации с БОС по показателям биоэлектрической активности мозга, сердечного ритма и сосудистого тонуса.

10. Наиболее эффективная методика обучения саморегуляции с БОС при помощи ритмических дыхательных упражнений приводит к увеличению мощности кардиореспираторной синхронизации и усилению активности в вовлекаемых в резонансный ответ структурах (таламических пейсмейкерных структурах, ядрах сосудодвигательного и дыхательного центров) в диапазоне частот дыхания, совпадающим с частотами изменения сверхмедленной биоэлектрической активности мозга, сердечного ритма и сосудистого тонуса.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Полученные в исследовании результаты позволяют предложить следующие практические рекомендации:

1. Необходимо учитывать исходный уровень регулируемого параметра для прогнозирования эффективности адаптивного биоуправления. При этом необходимо проводить сопоставление показателя как с уровнем физиологической нормы и оценивать его исходную вариабельность. Наибольшую эффективность имеет адаптивное биоуправление исходно повышенными и имеющими высокую вариабельность параметрами.

2. Для оценки выраженности психоэмоционального напряжения рекомендуется использовать нейрофизиологические показатели биоэлектрической активности головного мозга, тонуса вегетативной нервной системы и характеристик церебральной гемодинамики.

3. В условиях длительной регистрации показателей сосудистого сопротивления в целях БОС-тренингов, а также мониторингов состояния гемодинамики в спортивной медицине, в условиях лабораторных исследований на животных рекомендуется использование гармонического анализа реограммы. Данная методика позволяет оценивать колебания кровенаполнения и тонуса церебральных сосудов в режиме реального времени, что является преимуществом перед контурным методом анализа реографического сигнала по «опорным» точкам.

4. Характеристика успешности управления с биологической обратной связью, учитывающая длительность отклонения регулируемого показателя от исходных значений, позволяет стандартизировать оценку эффективности биоуправления. Наиболее обоснованной является статистическая оценка выраженности отклонений, учитывающая среднеарифметические значения и среднеквадратическое отклонение (вариабельность) регулируемого показателя перед началом тренингов с биологической обратной связью.

5. Использование дыхательной стратегии релаксации с частотой дыхания 6-12 раз в минуту позволяет повысить эффективность адаптивного биоуправления и оптимизировать деятельность нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

6. При планировании использования методов нелекарственной адаптации для снижения психоэмоционального напряжения рекомендуется проводить оценку биоэлектрической активности и выраженности уровня постоянного потенциала головного мозга, когнитивных и зрительных вызванных потенциалов с целью выбора оптимальной методики.

7. Прогнозирование успешности позволит повысить эффективность применения методов адаптивного биоуправления с БОС и увеличить привлекательность данного метода релаксации для испытывающих повышенные психоэмоциональные нагрузки здоровых лиц.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Белухина М.В., Долецкий А.Н., Томарева И.В. К вопросу о диагностике и коррекции психоэмоциональных нарушений. // Апрельский сборник 59-й конференции студентов и молодых ученых. Волгоград. 2001 г. - с.11.

2. Долецкий А.Н. Математическое моделирование параметров гармонического анализа реограмм. // Биология-наука XXI века. 5-я пушинская школа-конференция молодых ученых (Пушино, 16-20 апреля 2001 г.): Сборник тезисов. - С.125.

3. Долецкий А.Н. Методика компьютерного мониторинга мозгового кровообращения. // VI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (13-16 ноября 2001г.): Тезисы докладов. – Волгоград, 2002. – С.74-75.

4. Долецкий А.Н., Локтионова Ю.Ю., Тужилин Д.Ю. Управление параметрами мозговой гемодинамики с использованием биологической обратной связи. // Сборник научных работ, посвященный 150-летию Н.Е. Введенского. – Волгоград, 2002. –С.19-20.

5. Долецкий А.Н. Управление параметрами мозгового кровообращения с использованием биологической обратной связи. // Биология-наука XXI века. 6-я пушинская школа-конференция молодых ученых (Пушино, 20-24 мая 2002 г.): Сборник тезисов. Пушино, 2002. – Т.1. - С.76.

6. Долецкий А.Н. Результаты биоуправления по параметрам мозговой гемодинамики у здоровых людей. // XI международный симпозиум «Эколого-физиологические проблемы адаптации».(27-28 января 2003 г.): М.,2003. – С.170-172.

7. Критерии биоуправления тонусом мозговых сосудов с обратной связью: Рац. предл. №37-2002 от 15.11.2002. / Долецкий А.Н.

8. Долецкий А.Н. Повышение эффективности биоуправления по параметрам мозговой гемодинамики // Материалы 61-й итоговой научной конференции студентов и молодых ученых ВолГМУ. Апрель 2003г. – С.8-9.

9. Долецкий А.Н. Критерии эффективности биоуправления по параметрам мозговой гемодинамики // Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека: Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции. Издательство Волгоградского института экономики, социологии и права, 2003. –С. 223-225.

10. Горина Ю.В., Долецкий А.Н. Зависимость эффективности регуляции тонуса церебральных сосудов с обратной связью от используемой техники саморегуляции // Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека: Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции. Издательство Волгоградского института экономики, социологии и права, 2003. - С. 93-94.

11. Долецкий А.Н. Использование изменений церебральной гемодинамики в оценке эмоционального стресса // Успехи современного естествознания. - 2004. – № 4. - С.109.

12. Кочегура Т.Н., Долецкий А.Н., Красильникова М.О., Колчин А.А. Качество операторской деятельности у стрессустойчивых и стресснеустойчивых лиц // Материалы 62-й итоговой научной конференции студентов и молодых ученых Волгоградского государственного медицинского университета. – 2004. – С.8.

13. Красильникова М.О., Долецкий А.Н., Кочегура Т.Н. Управление вариабельностью сердечного ритма с биологической обратной связью // Сборник тезисов 8-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых "Биология - наука XXI века". - Пущино, 2004., С.117.

14. Кочегура Т.Н., Долецкий А.Н., Красильникова М.О., Колчин А.А. Качество операторской деятельности у стрессустойчивых и стресснеустойчивых лиц // Сборник тезисов 8-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых "Биология - наука XXI века". - Пущино, 2004., С.116.

15. Долецкий А. Н., Воробьева Е. В., Климова И. В., Тен С. В. Реакция церебральной гемодинамики на эмоциональный стресс // IX Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (9-12 ноября 2004г.): Тезисы докладов. – Волгоград, 2004. – С.38-39.

16. Долецкий А.Н. Прогнозирование успешности управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2004. - Т.90. №8. ч.2 - С.187-188.

17. Чеботарев Р.П., Мулик А.Б., Долецкий А.Н., Клаучек С.В. Амплитуда α -активности при фоно- и фотостимуляции у индивидов с различным уровнем общей неспецифической реактивности организма // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2004. - Т.90. №8. - С.160-161.

18. Долецкий А.Н. «Вызванная работа» мозга // Материалы II Научно-практической конференции: «Особый ребёнок –пути помощи». Волгоград, 2004. –С. 102-103.

19. Долецкий А.Н., Климова И.В., Тен И.В. Методы самоуправления с биологической обратной связью по параметрам реоэнцефалограмм // Актуальные проблемы патофизиологии: Материалы XI Межвузовской конференции молодых ученых. – Спб.: Издательство СПбГМУ, 2005. –С. 16-18.

20. Долецкий А.Н. Изменение церебральной гемодинамики в условиях стрессовой нагрузки // Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека: Материалы 4й Всероссийской научно-практической конференции. Волгоград, 2005. – С. 264-265.

21. Долецкий А.Н., Котрунова Е.В., Сиволобова Е.А., Семенцул Е.А. Сравнение эффективности различных техник саморегуляции с применением метода биологической обратной связи // Медико-биологические и психолого-педагогические аспекты адаптации и социализации человека: Материалы 4й Всероссийской научно-практической конференции. Волгоград, 2005. – С. 267-268.

22. Долецкий А.Н. Использование нейрофизиологических критериев для прогноза успешности управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2005. – №2. –С.8-11.

23. Долецкий А.Н., Климова И.В., Тен С.В. Техника управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 63-й итоговой научной конференции студентов и молодых ученых ВолГМУ (26-29 апреля 2005 года). –С.6-7.

24. Долецкий А.Н., Мулик А.Б. Изучение механизмов вегетативного сопровождения уровня общей неспецифической реактивности организма // X региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. – 2005. –С.18-19.

25. Долецкий А.Н. Прогнозирование успешности обучения управлению тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Материалы межрегиональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и наука: итоги и перспективы». Саратов: СарГМУ. – 2006. – С.71.

26. Долецкий А.Н., Кудрин Р.А. Построение прогностической модели успешности биоуправления с обратной связью на основе нейрофизиологических критериев // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН. - 2006. - №4. - С. 41-43.

27. Долецкий А.Н. Поиск предикторов эффективности обучения управлению тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // XI региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. – 2006. – С.10.

28. Долецкий А.Н. Дизайн тренингов саморегуляции тонуса мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Современные наукоемкие технологии №1. – 2007. – С.76-78.

29. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Сравнительный анализ топографического картирования ЭЭГ и ЭЭГ-томографии низкого разрешения (LORETA) // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 65-й юбилейной открытой научно-практической й конференции молодых ученых и студентов с международным участием (25-27 апреля 2007 года). – С.10-11.

30. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Поиск нейрофизиологических механизмов реализации различных видов самоуправления // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 65-й юбилейной открытой научно-практической и конференции молодых ученых и студентов с международным участием (25-27 апреля 2007 года). – С.11-12.

31. Долецкий А.Н. Эффективность различных техник саморегуляции с применением метода биологической обратной связи // Современные наукоёмкие технологии №4. - 2007. - С.78-79.

32. Долецкий А.Н. Предикторы эффективности самоуправления с биологической обратной связью // XX съезд Физиологического общества им. И.П.Павлова. Тезисы докладов. 2007. – С. 214.

33. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Сравнение нейрофизиологических характеристик разных видов релаксации // «Механизмы функционирования висцеральных систем». Материалы V Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика В.Н. Черниговского. – С.108-109.

34. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Синхронизация биоэлектрической активности и сердечно-сосудистой деятельности в покое // Материалы межрегиональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и наука: итоги и перспективы». Саратов: СарГМУ. – 2007. – С.55-56.

35. Долецкий А.Н. Сравнение гармонического и двухкомпонентного анализа реоэнцефалограмм // Пермский медицинский журнал. - 2008, Т.25. - №1. - С.54-58.

36. Клаучек С.В., Долецкий А.Н. Мониторинг мозгового кровообращения - новые возможности анализа реографических данных // Пермский медицинский журнал. - 2008, Т.25. - №1. - С.79-81.

37. Долецкий А.Н. Механизмы реализации самоуправления с использованием различных психофизиологических подходов // Материалы межрегиональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и наука: итоги и перспективы». Саратов: СарГМУ. – 2008. – С.70.

38. Долецкий А.Н., Котов В.Н., Кудрин Р.А. Возможность использования выраженности взаимосвязей сверхмедленных колебательных процессов в организме в качестве интегральной характеристики напряжения систем адаптации // Научные труды 55-й юбилейной региональной научно-практической конференции «Современная инновационная медицина – населению Волгоградской области». Волгоград, 2008. - С.41-42.

39. Долецкий А.Н., Клаучек С.В., Миронов И.В. Новые способы оптимизации адаптивного управления с биологической обратной связью // Научные труды 55-й юбилейной региональной научно-практической конференции «Современная инновационная медицина – населению Волгоградской области». Волгоград, 2008. - С.39-41.

40. Котов В.Н., Долецкий А.Н. Выраженность сверхмедленной полипараметрической активности в норме и патологии // Тезисы V Конференции молодых ученых России с международным участием «Фундаментальные науки и прогресс клинической медицины». Москва, 2008. - С.217-218.

41. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Поиск взаимосвязей сверхмедленных колебательных процессов в организме // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 7: Философия. Социология и социальные технологии. 2008. № 2. С. 154-156.

42. Долецкий А.Н., Муха Ю.П. Роль полиграфических исследований в оценке физиологического состояния организма // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2008. - №4. - С.65-70.

43. Долецкий А.Н., Клаучек С.В., Котов В.Н., Муха Ю.П. Выявление сверхмедленных колебательных процессов в организме при полиграфическом исследовании // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2009. - №4. - С.35-40.

44. Долецкий А.Н., Колбинева О.Ю., Нестерова М.О. Разработка методики оценки состояния неспецифических регулирующих структур мозга // Материалы 56-й региональной научно-практической конференции профессорско-преподавательского коллектива Волгоградского государственного медицинского университета «Инновационные достижения фундаментальных и прикладных медицинских исследований в развитии здравоохранения Волгоградской области». Волгоград, 2009. - С.43-45.

45. Долецкий А.Н. Прогнозирование успешности обучения управлению тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9: Исследования молодых ученых. Выпуск 7. 2008-2009. - С.152-156.

46. Калачев А.А., Долецкий А.Н. Физиологическое обоснование воздействия бинауральных ритмов (биений) на мозг человека // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 68-й научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием. Волгоград, 2010. – С.9-10.

47. Долецкий А.Н., Соболева А.А. Использование variability УПП мозга для оценки индивидуальной стрессоустойчивости // Материалы 57-й региональной научно-практической конференции профессорско-преподавательского коллектива Волгоградского государственного медицинского университета «Инновационные достижения фундаментальных и прикладных медицинских исследований в развитии здравоохранения Волгоградской области». Волгоград, 2010. - С.56-57.

48. Долецкий А.Н. Оценка успешности сеансов биоуправления с обратной связью // XXI Съезд Физиологического общества им. И.П.Павлова. Тезисы докладов — М. - Калуга: Типография ООО «БЭСТ-Принт», 2010. - С.190.

49. Аракелян А.С., Долецкий А.Н. Изменение уровня постоянного биоэлектрического потенциала мозга под воздействием аэробных и анаэробных физических нагрузок // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Материалы 69-й научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием. Волгоград, 2011. – С.5-6.

50. Долецкий А.Н. Синхронизация сверхмедленных ритмов организма в норме и при патологии // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине-2011. Материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара. Саратов, 2011. С.52-54.

51. Долецкий А.Н., Колбинева О.Ю., Нестерова М.О. Способ оценки состояния неспецифических регулирующих структур мозга // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине-2011. Материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара. Саратов, 24-25 октября 2011. С.55-58.
52. Долецкий А.Н., Котов В.Н. Выраженность сверхмедленных колебательных процессов при эпилепсии // Материалы V конгресса неврологов-эпилептологов ЮФО РФ. Волгоград, 26-28 апреля 2012. С.20-21.
53. Долецкий А.Н., Докучаев Д.А., Бусыгин А.Е. Психофизиологические особенности ритмической фотостимуляции // Материалы Всероссийской молодежной конференции «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине». Саратов, 2012. С.194-195.
54. Долецкий А.Н. Раннее выявление функциональных нарушений церебральной гемодинамики // Материалы Всероссийской молодежной конференции «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине». Саратов, 2012. С.206-207.
55. Бубнова А.Е., Долецкий А.Н., Калачев А.А., Клаучек С.В., Мулик А.Б. Влияние бинауральных биений на нейро- и психофизиологические характеристики человека-оператора // XVI Международная конференция по нейрокибернетике (ICNC-12). Ростов-на-Дону, 2012. С.173-176.
- 56. Калачев А.А., Долецкий А.Н. Влияние бинауральных биений на нейро- и психофизиологические характеристики человека // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2012. – №4. –С.44-46.**
57. Статистическое исследование информативности характеристик биоэлектрической активности головного мозга в оценке текущего эмоционального состояния // Волгоградский научно-медицинский журнал. - 2012. - №4. - С.34-43.
58. Долецкий А.Н., Бусыгин А.Е., Докучаев Д.А. Нейро- и психофизические особенности ответной реакции на ритмическую фотостимуляцию // Материалы Всероссийской молодежной конференции «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии». Ростов-на-Дону, 2012. С.41-43.
- 59. Механизмы реализации различных методик самоуправления с биологической обратной связью // Фундаментальные исследования. - 2012. - №12. - С.25-29.**
- 60. Информативность показателей variability состояния головного мозга, вегетативной нервной системы, системной и церебральной гемодинамики в оценке психоэмоционального стресса // Фундаментальные исследования. - 2012. - №12. - С.66-72.**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ΔX – вариационный размах, мс
АМо – амплитуда моды, встречаемость наиболее типичного класса длительностей сердечного цикла, %
БЭА — биоэлектрическая активность
БОС – биологическая обратная связь
ВК – верхний квартиль
ВП – вызванные потенциалы
ГА – гармонический анализ
ДА – дискриминантный анализ
ДАд — диастолическое артериальное давление, мм.рт.ст.
Им/о – относительное значение фракции церебрального кровотока, %
ИН – индекс вегетативного напряжения регуляторных систем, усл.ед.
ИПК – интегральный показатель кровотока, усл.ед.
Км – абсолютное значение фракции церебрального кровотока, мл/мин
Ме – медиана
МОК – минутный объём крови, л/мин
НК – нижний квартиль
РЭГ – реоэнцефалограмма
САд – систолическое артериальное давление, мм.рт.ст.
СИ – сердечный индекс, л/м²/мин
Тизгн — время изгнания крови из желудочков, с
УОК – ударный объём крови, мл
УПС – удельное периферическое сопротивление, усл.ед.
ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин
ЭЭГ – электроэнцефалограмма

Долецкий Алексей Николаевич

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТИВНОГО
БИОУПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора медицинских наук

Подписано в печать

г. Формат 60x4/16

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Усл печ.л.2

Тираж 100 экз.

Издательство Волгоградского государственного медицинского университета

400131, Волгоград, площадь Павших борцов, 1