

3. Бразовская Н. Г. // Бюллетень сибирской медицины. Прил. 1. — 2005. — Т. 4. — С. 194.
4. Джафарова О. А. и др. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2000. — Т. 18, № 4. — С. 12—15.
5. Долецкий А. Н. // Современные наукоемкие технологии. — 2007. — № 1. — С. 76—77.
6. Мажирова К. Г. Личностные особенности и динамика саморегуляции в процессе игрового биоуправления: автореф. ... к. м. н. — Новосибирск, 2009. — 23 с.
7. Мажирова К. Г., Джафарова О. А., Фрезе В. Р. // Бюллетень сибирской медицины. — 2010. — Т. 9, № 2. — С. 119—124.
8. Садчикова О. А. Патогенетические принципы использования метода биологической обратной связи в лечении расстройств адаптации: Дис. ... к. м. н. — СПб., 2005. — 115 с.
9. Сороко С. И., Трубаев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. — СПб.: Политехника-сервис, 2010. — 594 с.
10. Шемятенков В. Н., Кашкина Е. И., Ошменская Г. В. Психосоматические аспекты язвенной болезни: биорегуляция. — Издательство Саратовского медицинского университета, 2001. — 132 с.
11. Hammond D. C. // Journal of Neurotherapy. — 2011. — Vol. 15, № 4. — P. 305—336.
12. Overhaus S., et al. // Int-J-Behav-Med. — 2003. — Vol. 10, № 1. — P. 10 (1). — P. 66—78.
13. Sebastiani L., et al. // Arch Ital Biol. — 2005. — Vol. 143, № 1. — P. 1—12.
14. Wang S., et al. // Journal of Alternative and Complementary Medicine. — 2010. — Vol. 16, № 10. — P. 1039—1045.

Контактная информация

Долецкий Алексей Николаевич — к. м. н., ассистент кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: andoletsky@gmail.com

УДК 612.82:57

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНОЙ РЕЛАКСАЦИИ

А. Н. Долецкий, И. В. Хвастунова, Р. Е. Ахундова, А. А. Мигулина

Волгоградский государственный медицинский университет

Проводилась регистрация биоэлектрической активности головного мозга в нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системах в процессе адаптивного биоуправления с биологической обратной связью и медитации. Выполнялась регистрация сверхмедленной нервной и сердечно-сосудистой деятельности в диапазоне от 0,07 до 1 Гц. К записям применялись узкополосные фильтры, включавшие альфа, бета- и тета-диапазоны. Решалась обратная задача ЭЭГ за счет локализации источников биоэлектрической активности мозга в исследуемых диапазонах (с использованием программы BrainLoc 6.0). Установлено участие различных структур мозга в реализации поведенческих стратегий в группах обучившихся различным видам самоуправления. Полученные результаты свидетельствуют, что механизм биологической обратной связи включает синхронизацию частоты дыхания, электрической активности головного мозга, сердечных сокращений и сосудистого тонуса. Происходит увеличение активности в вовлеченных в резонансный ответ структурах (ядра таламуса, сосудодвигательного и дыхательного центров).

Ключевые слова: адаптивное биоуправление, физиологический резонанс, сверхмедленная активность.

NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF RELAXATION

A. N. Doletskiy, R. E. Akhundova, I. V. Khvastunova, A. A. Migulina

Cerebral activity and infraslow activity in the nervous, respiratory and circulatory systems during biofeedback of cerebral hemodynamic parameters and meditation were studied. Infraslow nervous and cardiovascular activity was registered within a range between 0,07 and 1 Hz. Each EEG record was filtrated in the alpha 1—3, beta and theta bands. The inverse EEG problem was solved by localizing the sources of brain activity in filtering ranges (BrainLoc v.6.0 was used). We revealed an involvement of different brain structures in the implementation of behavioral strategies in different types of groups trained to self-government, suggesting different mechanisms to achieve the final result. The results suggest that the mechanism of biofeedback including synchronization of the respiratory rate, brain activity, heart rate and vascular tone frequencies. This resulted in an increased activity in the involved resonant response structures (thalamic pacemaker structures, vasomotor nuclei and respiratory centers).

Key words: adaptive biofeedback, physiological resonance, infraslow oscillations.

Одним из наиболее перспективных немедикаментозных способов психической саморегуляции и релаксации, не связанным с фармакологическим воздействием, является метод обучения самоуправлению и способности к релаксации с помощью биологической обратной свя-

зи (БОС). Согласно представлениям некоторых исследователей, методики биоуправления основаны на эффекте суммации предощущения (субсенсорного ощущения) с изоморфным раздражителю сигналом биологической обратной связи. Возникает феномен прироста интенсивнос-

ти ощущения [1, 2]. 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 [6]. Вместе с тем, в литературе встречаются предположения как о наличии особых механизмов реализации управления различными физиологическими параметрами в процессе психофизиологической релаксации с помощью БОС тренировок, медитации и аутотренинга, так и неспецифичности действия методов психической саморегуляции [9, 11].

Ряд исследований свидетельствуют также о существенном вкладе в регуляцию деятельности организма сверхмедленных физиологических процессов. Установлено их значение как интегральных показателей функционального состояния центральной нервной системы и висцеральных органов [7, 8]. Однако работ, проверяющих наличие взаимосвязей между межсистемными колебательными процессами и эффективностью методов саморегуляции, в литературе найдено не было.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Анализ изменений биоэлектрической активности головного мозга и выраженности сверхмедленных колебаний в нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системах с целью проверки гипотезы о наличии нескольких механизмов немедикаментозной релаксации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В двух сопоставимых по половозрастной структуре группах молодых (18—25 лет) здоровых лиц проводились БОС-тренинги и занятия релаксационной медитацией с применением функциональной музыки. Группы по 30 испытуемых формировались с помощью рандомизации методом последовательных номеров из двух категорий студенческой молодежи — не имевших опыта релаксационной медитации и занимавшихся данным способом саморегуляции на протяжении последнего года. БОС-тренинги, направленные на снижение тонуса церебральных сосудов по реоэнцефалографическим показателям (РЭГ-БОС) проводились с испытуемыми из первой группы в среднем 2 раза в неделю, длительность каждого тренинга — 4 недели. Для оценки мозговой гемодинамики в режиме реального времени использовался ранее предложенный нами параметр гармонического анализа реоэнцефалограммы (РЭГ) — показатель тонуса артерий крупного калибра ($Kp_арт$) [3]. Согласно результатам наших предыдущих исследований, подобной продолжительности тренинга достаточно для формирования навыка релаксации большинства испытуемых. Каждый сеанс включал по 5—10 (в среднем — 8) трехминутных сессий с отдыхом в течение 1 мин после сессии. Перед испытуемым ставилась задача снижения тонуса церебральных сосудов посредством максимального уменьшения предъявляемого графически $Kp_арт$.

С помощью компьютерного 21-канального полиграфа «Энцефалан» (ООО «Медиком-МТД», Таганрог) проводилась регистрация ЭКГ, РЭГ и ЭЭГ до и после последнего сеанса БОС (в первой группе), до и после однократного сеанса релаксационной медитации (во второй группе). Осуществлялся поиск источников биоэлектрической активности в группах обучившихся самоуправлению с использованием БОС и релаксационной медитации с помощью 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. Анализировались не менее 3 участков, выбирались наиболее стабильные данные локализации источников биоэлектрической активности. Для анализа синхронизации сверхмедленной активности (СМА) в нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системах безартефактные фрагменты ЭЭГ, ЭКГ 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При управлении показателем $Kp_арт$ после обучения адаптивному биоуправлению с БОС снижение регулируемого показателя составляло в среднем ($45,5 \pm 20,68$) % от предтренингового значения, а длительность успешной регуляции — ($42,2 \pm 20,6$) %, что соответствует выраженному уменьшению тонуса церебральных артерий крупного калибра. Среднее значение $Kp_арт$ до сеанса БОС составило 142 усл. ед., нижний и верхний квартиль — 122 и 162 усл. ед. соответственно. После сеанса БОС медиана, нижний и верхний квартиль равнялись 130, 109 и 147 усл. ед. соответственно. Наиболее эффективными в управлении всеми регулируемыми параметрами оказались стратегии дыхательной регуляции — дыхание с частотой 6—12 и 4—6 дыхательных движений (ДД) в минуту. В группе занимавшихся медитацией до сеанса медиана, нижний и верхний квартиль равнялись 126, 103 и 147 усл. ед., после сеанса — 138, 123, 184 усл. ед. соответственно. Таким образом, при проведении БОС изменение целевого показателя эффективно и благоприятно, тогда как при медитации отмечалась обратная реакция — повышение сосудистого сопротивления.

В процессе БОС-тренинга по показателям церебральной гемодинамики происходит снижение генерализации биоэлектрической активности, формирование более выраженного фокуса альфа-ритма в затылочных областях коры, наиболее выраженное в диапазоне 11—13 Гц. Причем локализация основных генераторов биоэлектрической активности в затылочных областях была характерна даже для лиц с десинхронным типом ЭЭГ, не имевших четко выраженной альфа-активности при визуальном анализе ЭЭГ. Вместе с тем, при локализации источников доминирующей альфа-активности в про-

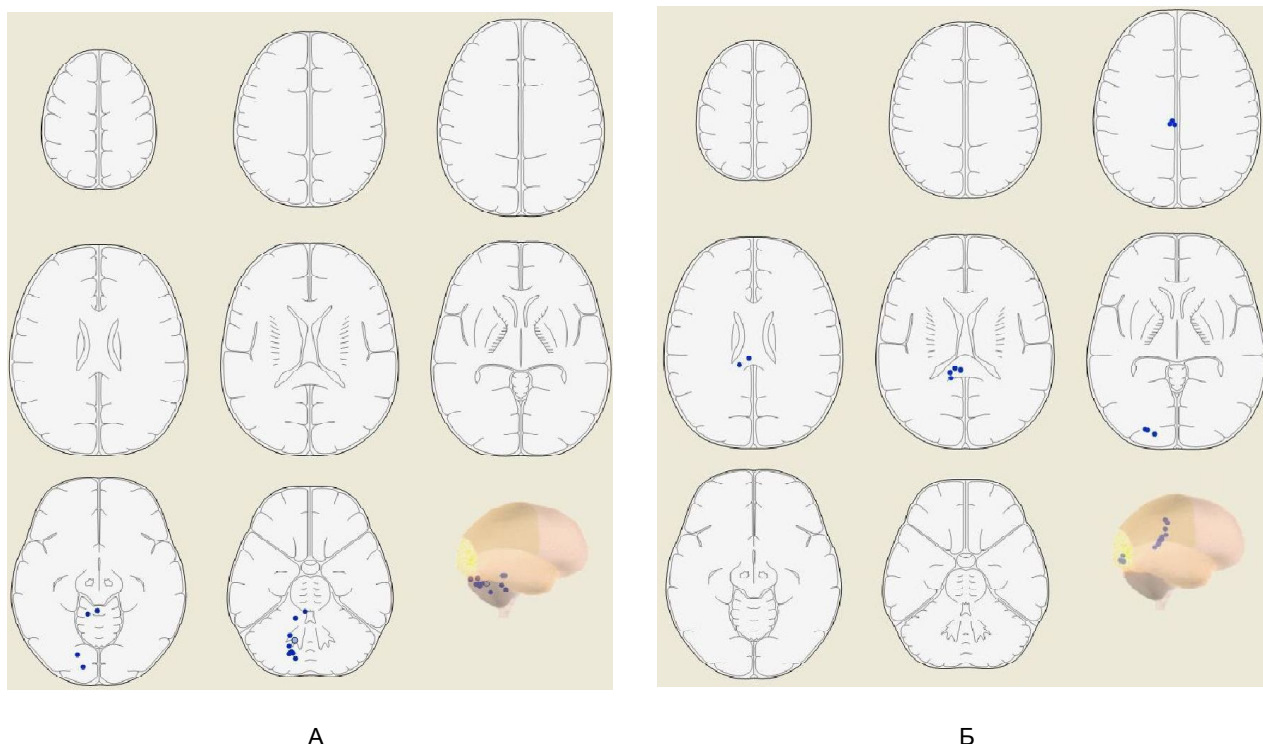


Рис. 1. Локализация источников активности частоты 11—13 Гц перед (А) и после (Б) БОС-тренинга по выраженности тонуса церебральных артерий с ведущей стратегией релаксации — «дыхание с частотой 6 в минуту». Модель: один подвижный диполь. Коэффициент дипольности 0,99

цессе самоуправления с БОС отмечается, что при использовании произвольного контроля дыхания в качестве ведущей стратегии релаксации большинство единичных диполей, характеризующих моментальные источники биоэлектрической активности, локализовались в срединных отделах мозга (рис. 1).

Выявленные особенности локализации источников биоэлектрической активности подтверждают имеющиеся литературные сведения о роли неспецифических структур ствола мозга и ассоциативных таламо-кортикальных систем в совместном обеспечении процессов подкорково-корковой интеграции и характеризуют стволые образования как наиболее постоянный нейрофизиологический субстрат адаптивного биоуправления с БОС.

Вместе с тем, для занимавшихся медитацией лиц была характерна диффузная биоэлектрическая активность головного мозга с выраженной асимметрией распределения биопотенциалов до и после сеанса (рис. 2).

Результаты анализа исследований биоэлектрической активности головного мозга в группах обучившихся различным видам самоуправления свидетельствуют о вовлечении различных мозговых структур в реализацию поведенческих стратегий, что говорит о различии механизмов достижения конечного результата. Возможно, данные различия связаны с направленностью БОС-тренинга на изменение только одного показателя, в то время как релаксационная медитация имеет более общую, неспецифическую направленность.

Выявленная связь между успешностью адаптивного биоуправления с БОС и использованием дыхательной релаксации послужила основанием для регистрации сверхмедленной активности (СМА) нервной и сердечно-сосудистой систем в дополнительной группе испытуемых, дышавших при обследовании в навязанном ритме 6 и 12 раз в минуту (0,1 и 0,2 Гц соответственно). Данная группа была сопоставима по половозрастному соотношению с исследуемыми группами.

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 (рис. 3). 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, соответ-

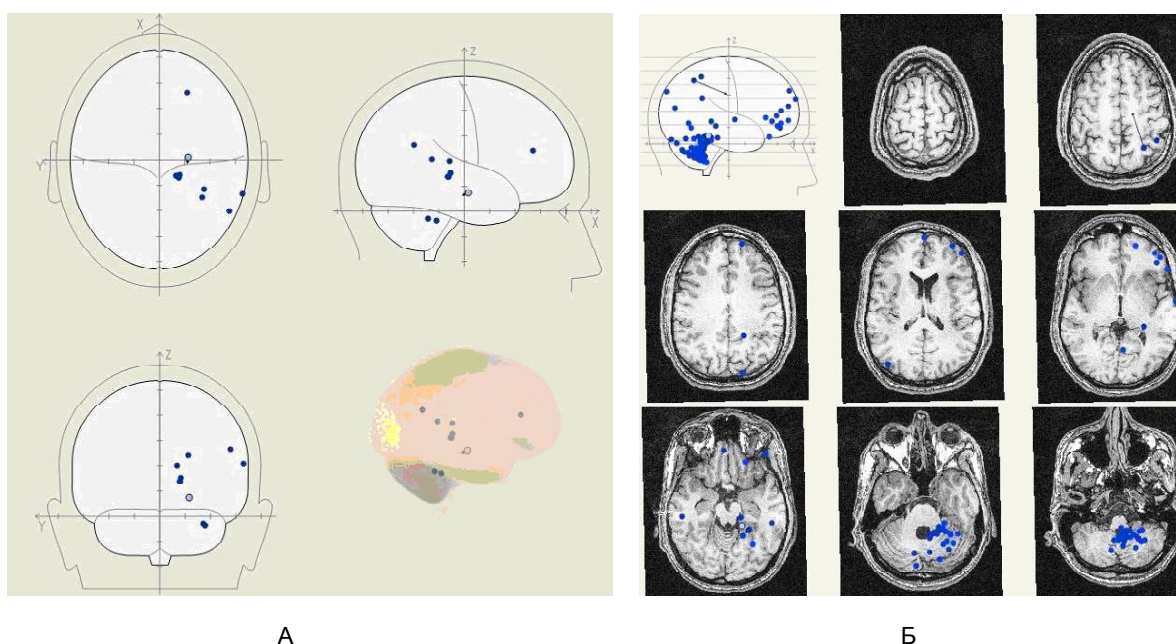


Рис. 2. Локализация источников активности частоты 11—13 Гц в состоянии спокойного бодрствования (А) и медитационной релаксации (Б). Модель: один подвижный диполь. Коэффициент дипольности 0,99

ственно). 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. Колебания 0,37—0,94 Гц по длительности занимают промежуточное между пульсовыми и дыхательными волнами положение, что по-

зволяет исключить гемодинамический или дыхательный характер данных колебаний.

В процессе реализации релаксации с использованием медитации наблюдается значимое увеличение мощности и альфа- и тета-ритмов и частоты тета-ритма по сравнению с исходными значениями. После окончания релаксации отмечается тенденция к восстановлению частоты и мощности альфа- и тета-ритмов. Подобные изменения характерны для снижения функциональной активности мозга. После окончания сеанса релаксации отмечалась тенденция к восстановлению частоты и мощности ритмов.

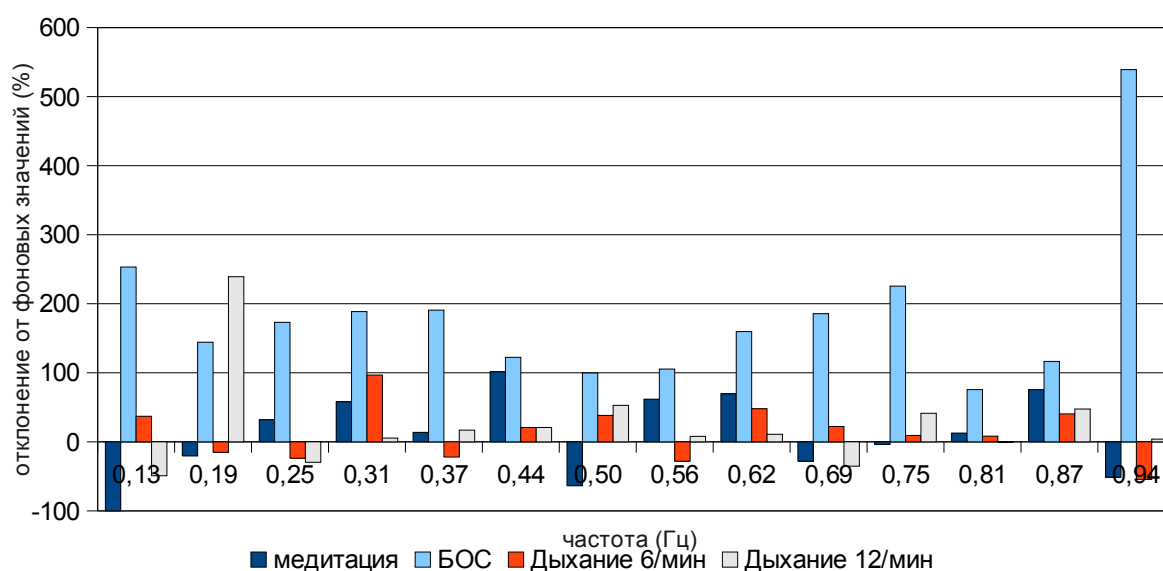


Рис. 3. Динамика сверхмедленной биоэлектрической активности головного мозга при различных видах релаксации

Известно, 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 [4]. Это находит подтверждение и в литературных данных о роли в формировании сверхмедленной электрической активности головного мозга супраоптической области гипоталамуса, перивентрикулярных ядер, дорсомедиального ядра таламуса и гиппокампа [7]. Их вовлечение в реализацию обучения адаптивному биоуправлению с БОС в настоящем исследовании подтверждается как регистрацией сверхмедленной активности нервной и сердечно-сосудистой систем, так и локализацией биоэлектрической активности нервной системы. Выявленная связь успешности БОС с ритмическим дыханием свидетельствует о роли резонансных процессов в механизме адаптивного биоуправления с БОС. Это позволило выдвинуть резонансную гипотезу 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). Выявленная способность саморегуляции с помощью биологической обратной связи более специфично влиять на регулируемые показатели церебральной гемодинамики и вызывать более локализованные изменения биоэлектрической активности согласуется с мнением о специфичности изменений в процессе БОС-тренинга как внутри отдельных функциональных систем организма, так и в их взаимодействиях [10].

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 [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эффективность управления целевым показателем с помощью БОС выше, чем при использова-

нии медитации, при этом анализ локализации источников биоэлектрической активности позволяет сделать вывод о вовлечении различных участков нервной системы при использовании различных методов саморегуляции.

2. Результаты сравнительного анализа эффективности снижения сосудистого сопротивления позволяют рекомендовать обучение БОС как более эффективный метод.

3. Нейрофизиологическим механизмом, обеспечивающим эффективное адаптивное биоуправление, является активация неспецифических структур ствола мозга и ассоциативных таламо-кортикальных связей по резонансному принципу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боксер О. Я. // Физиология человека. — 1994. — Т. 20, № 2. — С. 5—16.
2. Богданов О. В., Пинчук Д. Ю., Михайленок Е. Л. // Физиология человека. — 1990. — Т. 16, № 1. — С. 13—17.
3. Долецкий А. Н. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2005. — Т. 14, № 2. С. 8—11.
4. Илюхина В. А. Мозг человека в механизмах информационно-управляющих взаимодействий организма и среды обитания. — СПб., 2004. — 328 с.
5. Кузьмин А. А., Пронин Т. В., Филист С. А. // Вестник новых медицинских технологий. — 2006. — Т. XIII, № 2. — С. 85—87.
6. Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Акоев И. Г. // Успехи физиол. наук. — 2000. — Т. 31, № 3. — С. 39—53.
7. Филиппов И. В., Кребс А. А., Пузачев К. С. Сверхмедленные механизмы переработки сенсорной информации в высших таламо-кортикальных представительствах головного мозга // Физиология адаптации: Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции (Волгоград, 22—24 июня 2010). — 2010. — С. 120—123.
8. Фокин Н. В., Пономарева В. Ф. Энергетическая физиология мозга. — М.: Антидор, 2003. — 288 с.
9. Critchley H. D., Melmed R. N., Featherstone E., et al. // Brain. — 2001. — Vol. 124, № 5. — P. 1003—1012.
10. Schwartz M. S. Biofeedback: A Practitioners Guide. — New York: Guilford Press, 1995. — 326 p.
11. Wheat A. L., Larkin K. T. // Applied Psychophysiology and Biofeedback. — 2010. — Vol. 35, № 3. — P. 229—242.

Контактная информация

Долецкий Алексей Николаевич — к. м. н., ассистент кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: andoletsky@gmail.com