

УДК 612.822.3

ДИНАМИКА ПАТТЕРНА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

Трибрат А.Г., Губкина Д.Г., Арбатов В.В., Павленко В.Б.

Под биологической обратной связью понимается использование электронного приспособления для обнаружения, усиления и представления в подходящей сенсорной форме обычно не воспринимаемых физиологических процессов. Биологическая обратная связь по электроэнцефалограмме (ЭЭГ-ОС или нейрофидбек) – это такой вариант данного метода, при котором путем условнорефлекторного обусловливания подвергаются модификации отдельные ритмы ЭЭГ в различных комбинациях. В основе нейрофизиологических механизмов ЭЭГ-ОС лежит создание единого доминантного процесса для определенных условий. Считается, что сеансы ЭЭГ-ОС разрушают функциональные системы, определяющие устойчивое патологическое состояние и впоследствии заменяют их адекватными [1, 2]. В настоящее время разработаны различные протоколы ЭЭГ-ОС для коррекции синдрома дефицита внимания и гиперактивности, эпилепсии, различных форм депрессии, тревожных нарушений и т.д.

Человек, включенный в цепь компьютерной биологической обратной связи по ЭЭГ, получает возможность реализовать адаптивное управление функциями, нуждающимися в коррекции. В основе метода лежат следующие принципы: возможность произвольного изменения мощности ритмов ЭЭГ человека при использовании обратной связи; условнорефлекторное обучение вегетативной нервной системы; повышение порога судорожной готовности как у животных, так и у человека после обучения усилению ритма 8-13 Гц в сенсомоторной зоне коры головного мозга.

По данным литературы, наибольшую востребованность метод биологической обратной связи находит в клинической практике [3, 4]. ЭЭГ-ОС применяют для лечения судорожных расстройств и для улучшения оперативных функций интеллекта: бета-тренинг используется в педиатрической практике, альфа-тета тренинг – как один из возможных методов лечения и профилактики невротических, соматоформных и дезадапционных расстройств [1, 5], являющихся следствием так называемых пограничных состояний (предболезни) и берущих начало в сильном хроническом стрессе, которому в нынешнее время подвержено множество людей [6].

Проведение сеансов обратной связи направлено на устранение самой причины болезни, в отличие от применяемых в подобных случаях анксиолитиков и антидепрессантов, обладающих одним существенным недостатком – снимая симптоматику, эти вещества нарушают нормальное функционирование мозга, препятствуют выполнению профессиональной и повседневной деятельности человека.

В нашей лаборатории проводится серия исследований, в которых применяется альфа-тета тренинг, направленный на увеличение альфа- и снижение тета-ритма, что позволяет обучать участников исследования глубокой релаксации.

Как известно, тета-ритм складывается из ритмических медленных волн с частотой 4-7 Гц. У человека выраженность тета-ритма в ЭЭГ зависит от возраста, фона основной активности, степени умственного напряжения и других факторов. Рядом исследователей установлено, что упорядоченный тета-ритм чаще всего возникает при эмоциональных состояниях отрицательного характера [7, 8]. При обычных обстоятельствах у взрослых с уравновешенным характером тета-ритмы едва различимы, но при действительно неприятных раздражениях такие ритмы могут выявиться даже у выдержанных людей. В то же время, низкоамплитудный тета-ритм составляет один из компонентов нормальной ЭЭГ.

Альфа-ритм состоит из волн частотой 8-13 Гц. Альфа-ритм характерен для ЭЭГ взрослого человека в состоянии спокойного расслабленного бодрствования при закрытых глазах и является своеобразной характеристикой оптимального функционального состояния коры больших полушарий. Понижение либо повышение степени активации (сенсорной либо внутренней) ведет к угнетению альфа-активности. Следует также отметить, что обычно амплитуда альфа-волн испытывает определенную модуляцию: обычно то увеличивается, то ослабевает (сквики-эффект) [9], что важно учитывать в экспериментах по изменению его динамики в режиме реального времени.

В спектре альфа-активности выделяют три компонента, различные по локализации (в центральных, теменных и затылочных областях), частотным диапазонам и по характеру реакции на различные афферентные воздействия [10 – 12]. Частота доминирующего пика альфа-ритма является достаточно индивидуальным показателем и варьирует от испытуемого к испытуемому [13]. В текущей ЭЭГ в большинстве случаев доминирует альфа-2-ритм, лишь у некоторых испытуемых наблюдается доминирование альфа-1- или альфа-3-ритмов. В связи с этим при использовании спектрального анализа ЭЭГ пики альфа-1- или альфа-3-ритмов зачастую сложно обнаружить визуально. Для выделения поддиапазонов используют положение пика альфа-2-ритма: в области более медленных частот относительно его нижней границы расположен поддиапазон альфа-1-ритма, в области более быстрых частот – поддиапазон альфа-3-ритма. Ширина каждого из поддиапазонов составляет около 2 Гц.

Поскольку основные характеристики и функциональная роль поддиапазонов альфа-ритма изучены недостаточно, целью данного исследования стал анализ закономерностей изменений альфа-ритма ЭЭГ при использовании методики ЭЭГ-ОС, направленный на определение, какие именно из этих поддиапазонов подвергаются наибольшему воздействию и как именно изменяются в процессе проведения альфа-тета тренинга. Особое внимание уделено также динамике других ритмов ЭЭГ, чья мощность связана с уровнем альфа-активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В экспериментальном исследовании, посвященном изучению стратегий целенаправленной аутокоррекции психофизиологического состояния при помощи биологической обратной связи, принимало участие 70 испытуемых-добровольцев,

ДИНАМИКА ПАТТЕРНА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

Испытуемые обоого пола являлись студентами ТНУ им. В. И. Вернадского в возрасте 18–30-ти лет и не находились в состоянии эмоционального стресса. Из общего числа участников исследования 37 человек входили в экспериментальную группу, 33 – в группу контроля.

Поскольку выраженные пики на спектре ЭЭГ во всех трех поддиапазонах альфа-ритма обычно можно выявить при отведении ЭЭГ от центральных локусов [10], то у основного числа испытуемых нами проводилась регистрация ЭЭГ в точках С3-С4 (по системе «10-20»). Сеансы ЭЭГ-ОС с последующим анализом амплитудно-частотных характеристик ритмов ЭЭГ, проводились по методике, описанной ранее [14]. Длину отрезков ЭЭГ используемых для анализа спектральной мощности, выбирали индивидуально для каждого испытуемого на основе предварительного исследования структуры ритмических компонентов альфа-диапазона.

Полученные в результате анализа данные обрабатывались с помощью программы “STATISTICA”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении сеансов ЭЭГ-ОС, направленных на увеличение соотношения альфа- и тета-ритмов головного мозга, на протяжении первого сеанса чаще наблюдалось не усиление, а ослабление интенсивности альфа-ритма. Данный факт может быть объяснен новизной ситуации для испытуемого, а также определенным усилием, которые прикладывал испытуемый при попытке выполнить поставленную задачу – усилить альфа-ритм. При последующих посещениях ослабление альфа-ритма становится менее значительным, что происходит вследствие адаптации испытуемых к незнакомой ситуации, а также за счет подбора оптимальной стратегии релаксации. Интенсивность альфа-ритма, регистрируемого в процессе ЭЭГ-ОС, растет от сеанса к сеансу. Особенно важно отметить, что от посещения к посещению наблюдается увеличение общего уровня интенсивности альфа-ритма текущей ЭЭГ (регистрируемой в начале сеанса), что свидетельствует об успешности тренинга (рис. 1).

В контрольной группе также наблюдается ослабление интенсивности альфа-ритма, уменьшающееся в последующих сеансах вследствие адаптации к незнакомой ситуации, однако, несколько увеличившись при втором посещении, общий уровень интенсивности альфа-ритма при дальнейших посещениях не изменяется. Логично предположить, что поскольку нет альфа/тета-тренинга, научение не происходит и паттерн текущей ЭЭГ не изменяется.

На рис. 1 обращает на себя внимание усиление мощности альфа-ритма как в затылочных, так и в лобных отведениях, после проведения сеансов ЭЭГ-ОС, в то время как до проведения сеансов альфа-активность умеренной выраженности наблюдалась только в затылочных отведениях. У испытуемых экспериментальной группы интенсивность тета-ритма в течение сеансов ЭЭГ-ОС значительно уменьшается как в течение каждого сеанса, так и между посещениями, в то время как в контрольной группе никаких закономерных изменений не наблюдается. Этот факт подтверждает эффективность применяемой методики ЭЭГ-ОС для увеличения соотношения альфа- и тета-ритмов в сторону альфа-ритма.

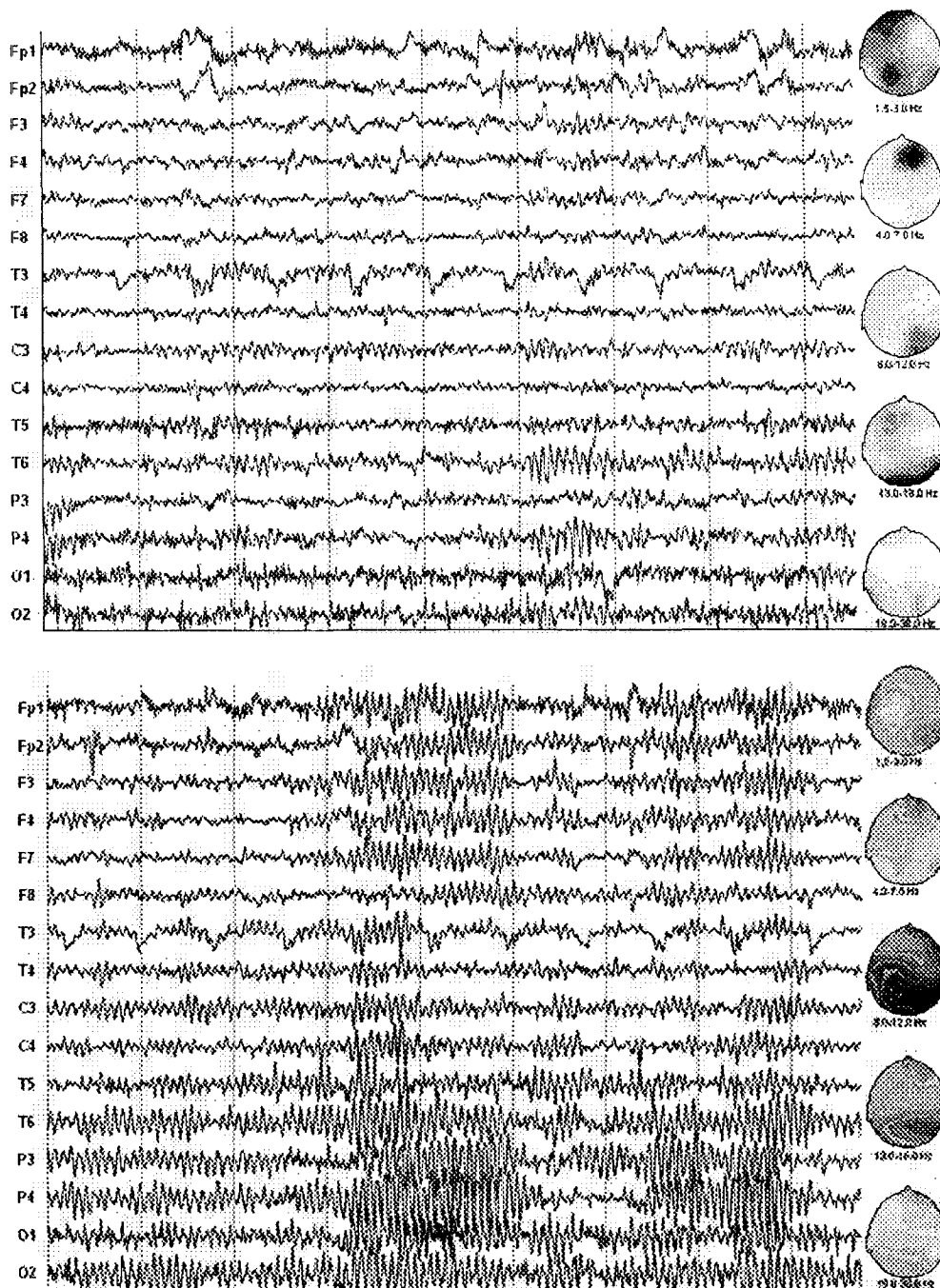


Рис. 1. Общий вид ЭЭГ испытуемого до (вверху) и после (внизу) сеансов биологической обратной связи. В правой части рисунка – картирование мощностей ритмов ЭЭГ.

ДИНАМИКА ПАТТЕРНА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

Хотя в проведенных экспериментах протокол ЭЭГ-ОС был направлен на увеличение мощности альфа-ритма и снижение мощности тета-ритма, изменения наблюдались и в интенсивности ритмов других частот. Интенсивность бета-ритма у испытуемых как основной, так и контрольной группы несколько уменьшается в течение сеансов ЭЭГ-ОС и их имитации. Однако в экспериментальной группе испытуемых интенсивность бета-ритма текущей ЭЭГ несколько понижается от посещения к посещению, что может свидетельствовать об эффективности применяемых испытуемыми методик релаксации, в то время как в контрольной группе интенсивность данного ритма текущей ЭЭГ напротив растет.

При рассмотрении динамики мощности альфа-ритма в разных поддиапазонах на протяжении первого и последнего сеансов ЭЭГ-ОС, мы обнаружили статистически значимое увеличение мощностей альфа-1- и альфа-2-ритмов. В то же время достоверных изменений альфа-3-ритма не выявлено (рис. 2, верхний фрагмент). Такой паттерн ЭЭГ наблюдался во всех трех этапах сеанса ЭЭГ-ОС.

Данная закономерность может быть объяснена тем, что мощность альфа-1- и альфа-2-ритмов прямо пропорциональна состоянию функциональной психологической расслабленности и обратно пропорциональна степени напряженного ожидания [13]. Логично предположить, что в результате сеансов ЭЭГ-ОС повышается функциональная возможность произвольной психической релаксации. Мы также предполагаем, что поскольку мощность альфа-3-ритма отражает степень физического расслабления, то при проведении сеансов происходит, прежде всего, эмоциональное, а не мышечное расслабление.

В контрольной группе подобных закономерностей в изменении поддиапазонов альфа-ритма нами не обнаружено (рис. 2, нижний фрагмент).

Что касается механизмов наблюдаемых изменений паттерна ЭЭГ в результате проведения сеансов ЭЭГ-ОС, то можно высказать следующее соображение. Как известно, характер ритмической активности ЭЭГ связан со структурно-функциональными особенностями мозговой организации. Таким образом, изменение ритмической активности должно быть опосредовано изменениями в этой организации. Ключевую роль в модулирующем контроле ритмов ЭЭГ играют таламус и лимбическая система, многие нейроны которых обладают ритмической активностью; эта активность в значительной мере вызвана влияниями от синаптических входов других нейронов. Так, таламические нейроны *in vitro* обладают ритмической активностью в диапазоне 6–10 Гц. Нейромодуляция корковых биопотенциалов является наиболее важным звеном в механизме реализации действия ЭЭГ-ОС. Реорганизация модулирующих влияний от таламических и лимбических структур влияет на характер суммарной ритмической активности мозга, и как следствие – на текущее состояние человека.

Если действие ЭЭГ-ОС производит эффективные и длительные изменения в нейронных цепях, определяющих то или иное функциональное состояние головного мозга, то эти нейронные цепи должны не только меняться в течение сеанса ЭЭГ-ОС, но и фиксировать эти изменения в течение продолжительного времени; иными словами, эти системы должны быть достаточно пластичны [15]. Необходимы два следующих процесса, определяющих такую пластичность – модуляция нейронных

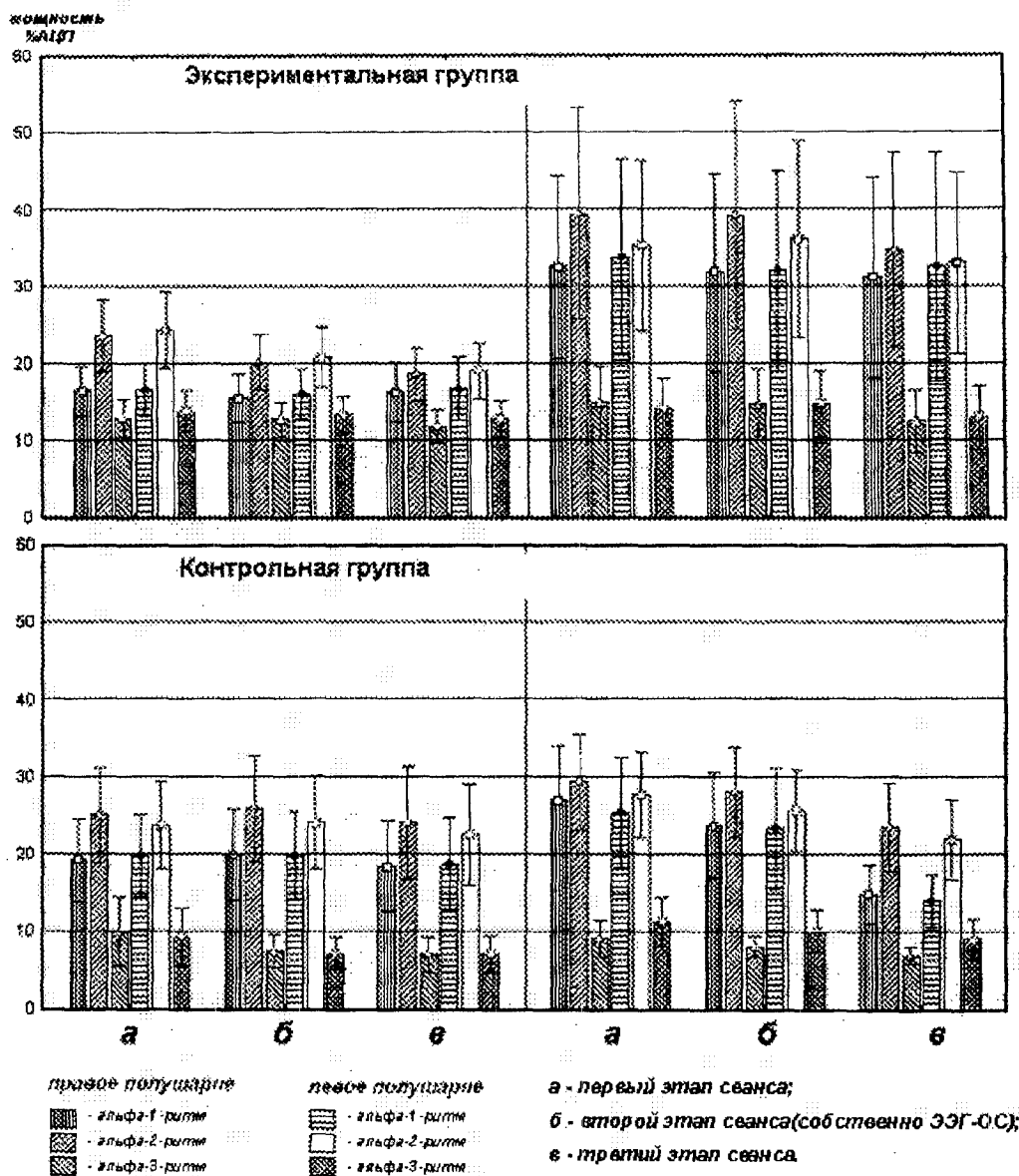


Рис. 2. Изменения паттерна ЭЭГ-потенциалов при использовании биологической обратной связи (вверху) и ее имитации (внизу). Фрагменты слева – исходная запись, фрагменты справа – итоговая запись ЭЭГ.

цепей и закрепление такой модуляции во времени. Хотя эти процессы представлены различными системами, их действия так или иначе связаны между собой.

В отношении генерации ритмов ЭЭГ, существуют два направления, взаимно дополняющие друг друга и дающие возможность объяснения принципов изменения

ДИНАМИКА ПАТТЕРНА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

функционального состояния головного мозга и, как следствие, изменения паттернов ЭЭГ-потенциалов при применении ЭЭГ-ОС. Так, с одной стороны, считается, что все ритмы ЭЭГ возникают в интракортикальных петлях [16]. Указанное представление основано на том, что порядка 97% электрической активности головного мозга, регистрируемой как ЭЭГ, берет начало внутри коры. С другой стороны известно, что активность коры модулируется таламическими пейсмейкерами. Также, показано, что сонные веретена с частотой 12-17 Гц регистрируются даже в том случае, если кора отсутствует, иначе говоря, таламические пейсмейкеры могут генерировать некоторые ритмы ЭЭГ независимо от коры [17]. В норме такие пейсмейкеры запускают и поддерживают ритмическую активность разной частоты в зависимости от того, какие резонансные петли коры они активируют.

Предполагается [16], что в течение сеансов ЭЭГ-ОС в процесс обучения вовлекаются скопления нейронов, изменяющиеся по мере обучения и формирующие между собой новые связи. При этом цепи нервных клеток неокортекса работают как резонансные петли, чья частотная настройка плавно регулируется. Изменения в резонансных петлях, вызванные какими-либо причинами (не только обучением, но и текущими эмоциональными состояниями), могут вызывать изменения частоты возбуждения таламических пейсмейкеров и, как следствие, модифицировать присущий им паттерн возбуждения.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведения тренингов соотношение мощности альфа- к тета- ритму увеличивается пропорционально числу сеансов.
2. Статистически достоверный прирост альфа-ритма отмечен в альфа-1 и в альфа-2 поддиапазонах.

Список литературы

1. Сороко С.И., Мурсалиев Т.Ж., Комаров И.Н., Соложенкин В.В. Коррекция нервно-психических дезадаптивных нарушений с помощью метода функционального биоуправления с ЭЭГ-обратными связями // Физиология человека. – 1995. – Т. 21, № 6. – С. 14-28.
2. Бехтерева Н.П., Камбарова Д.К., Поздеев В.К. Устойчивое патологическое состояние при болезнях мозга. – Л.: Медицина, 1978. – 240 с.
3. Любар Дж. Ф. Биоуправление, дефицит внимания и гиперактивность. Биоуправление – 3: теория и практика. – Новосибирск, 1998.
4. Штарк М.Б., Скок А.Б. Применение электроэнцефалографического биофидбека в клинической практике (литературный обзор). Биоуправление – 3: теория и практика. – Новосибирск, 1998. – С. 131-141.
5. Rice K., Blanchard E., Purcell M. Biofeedback treatments of generalized anxiety disorder: preliminary results // Biof. & Self Regulation. – 1993. – V. 18, № 2. – P. 93-105.
6. Прихожан А.М. Тревожность у детей и подростков: психологическая природа и возрастная динамика. – М., 2000. – 304 с.
7. Абрамов Ю. Б. Стресс и его патогенетические механизмы // Материалы Всесоюзного симпозиума. – Кишинев. – 1973. – С. 46-47
8. Гусельников В. И. Электрофизиология головного мозга. – М., 1976.
9. Уолтер Грей. Живой мозг. – М.: Мир. – 1966. – 300 с.

10. Фарбер Д.А., Вильдавский В.Ю. Гетерогенность и возрастная динамика альфа – ритма электроэнцефалограммы. // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 5. – С 5-12.
11. Krause С.М., Astrom Т., Karrasch М., Laine М., Sillanmaki L. Cortical activation related to auditory semantic matching of concrete versus abstract words // Clinical Neurophysiology. – 1999. – V. 110. – P. 1371-1377.
12. Roschke J., Fell J., Mann K. Non-linear dynamics of alpha and theta rhythm: correlation dimensions and Lyapunov exponents from healthy subject's spontaneous EEG // Int. J. Psychophysiology. – 1997. – V. 26. – № 1. – P. 251-261.
13. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // Brain Res. Rev. – 1999. – V. 29, № 2-3. – P. 169-195.
14. Трибрат А.Г., Макарова Л.Б., Павленко В.Б. Стратегии направленной аутокоррекции психофизиологического состояния с использованием биологической обратной связи по ЭЭГ // Ученые записки ТНУ. – 2005. – Т. 18 (57), № 1. – С. 146-153.
15. Sterman В. Physiological origins functional correlates of EEG rhythmic activities: implication for self – regulation // Biofeedback and self-regulation. – 1996. – V. 22, № 1. – P. 3-33.
16. Lopes da Silva, F. Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks. – 1991.
17. Nunez P.L. Toward a physics of neocortex // Neocortical dynamics and human EEG rhythms. – N.Y., 1995. – P. 68-132.

Поступила в редакцию 10.10.2005 г.