

СИНХРОНИЗАЦИЯ АЛЬФА-РИТМА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РЕГУЛЯТОРНОЙ ФУНКЦИИ МОЗГА

Ю.И. Корюкалов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Цель – выявить синхронизацию альфа-ритма в организации функционального состояния у спортсменов и у лиц, занимающихся по системе психорегуляции. Изучена синхронизация альфа-ритма при релаксации и локальной нагрузке на эргографе у спортсменов и лиц, занимающихся по системе психорегуляции 18–30 лет. Регистрацию биотоков мозга проводили с помощью ЭЭГ. Показано, что при произвольном изменении функционального состояния у спортсменов и лиц, практикующих психорегуляцию, отмечена способность синхронизировать на частоте альфа-ритма активность разных структур головного мозга. Спортивные тренировки, связанные с задачами управления своим функциональным состоянием, и регулярные занятия психофизической саморегуляцией приводят к выраженным изменениям биоритмики мозга, проявляющимся активизацией альфа-ритма в низкочастотном и среднечастотном субдиапазонах.

Ключевые слова: альфа-ритм, синхронизация биотоков мозга, локальная нагрузка, спортсмены, релаксация, саморегуляция, функциональные состояния.

Введение. По мнению [1] постоянное движение из одного неустойчивого состояния в другое позволяет живым организмам адекватно приспосабливаться к непрерывно меняющимся внешним условиям. Таким образом, у живых организмов собственные биоритмы синхронизовались с внешними ритмами среды обитания [2].

Главным регулятором биоритмов и обусловленных ими жизненных процессов выступает мозг [6]. Биоритмика же мозга связана с индивидуальными особенностями механизмов саморегуляции и уровнем пластичности нейродинамических процессов [10]. Показано, что уровень саморегуляции выше у тех лиц, у которых в ЭЭГ выражены периодические составляющие, имеющие во временной структуре ЭЭГ устойчивые связи отдельных ритмов с альфа-ритмом.

Существенное внимание уделяется изучению синхронизации различных отделов коры головного мозга альфа- и бета-ритмов в процессах регуляции и изменениях функционального состояния организма [11, 13, 15].

Однако процессы синхронизации биоэлектрической активности мозга при различных функциональных состояниях, например, в активном бодрствовании и релаксации недостаточно изучены. Пониманию процессов развития пластичности нервных процессов и регуляторной функции мозга будет способст-

вовать всестороннее изучение процессов синхронизации биотоков мозга.

Целью исследования явилось выявление синхронизации альфа-ритма в организации функционального состояния у спортсменов и у лиц, занимающихся по системе психорегуляции.

Методика исследования. Испытуемыми являлись студенты и аспиранты ЮУрГУ в возрасте от 18 до 30 лет (средний возраст 24 ± 3 года, всего 35 человек). Группу наблюдения (11 человек) составили спортсмены, занимающиеся ациклическими видами спорта (I разряд – МС); контрольную группу (12 человек) составили испытуемые того же возраста и пола, не занимающиеся спортом (II группа). III группу (12 человек) составили испытуемые того же возраста, регулярно занимающиеся психофизической саморегуляцией (ПФР).

При помощи прибора Нейрон-Спектр (Нейрософт, Россия) осуществляли многоканальную регистрацию ЭЭГ с 8 чашечных электродов, соединенных с ушными электродами и локализованных в соответствии с системой 10–20. Производили несколько функциональных проб: фоновая запись (ФЗ), состояние релаксации у лиц, занимающихся ПФР, выполнение локальной нагрузки (ЛН) поочередно правой и левой рукой на эргографе до утомления (отказа от работы) и фоновая запись восстановительного периода

Интегративная физиология

после каждой нагрузки; фотостимуляция на частоте 6 Гц и фоновая запись восстановительного периода после пробы. Частота квантования ЭЭГ составляла 250 Гц. Компьютерная электроэнцефалография включала спектральный и корреляционный анализ, осуществляемый по программному обеспечению фирмы-разработчика.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе изучения биотоков мозга у спортсменов и лиц, занимающихся психофизической саморегуляцией (ПФР), были выявлены различия как в фоновых показателях биотоков мозга, так и при выполнении функциональных проб и последующем восстановительном периоде.

Анализ фоновой биоэлектрической активности мозга в состоянии покоя при открытых глазах (ФЗ) показал, что почти у всех спортсменов на электроэнцефалограммах выявлена альфа-активность, в отличие от испытуемых группы нетренированных, у которых она выявлялась лишь в 1/3 случаев. Доминирующая частота ритма в обеих группах составила 10–10,5 Гц, хотя у спортсменов также выделяется пик на 7–8 Гц, что связывают [11, 14] с более развитой способностью к саморегуляции. Анализ спектра альфа-активности у спортсменов выявил ее доминирование как в затылочных, так и в лобно-центральных отделах, при этом у большинства спортсменов мощность альфа-ритма была больше выражена в лобных отведениях по сравнению с центральными (см. таблицу), что подчеркивает возможность произвольного управления функциональным состоянием. У испытуемых из группы нетренированных альфа-активность прослеживается в основном лишь в затылочных областях; у большей части испытуемых в фоновой записи с открытыми глазами она преобладает в отведениях левого полушария.

Таким образом, для спортсменов, в отличие от нетренированных, в фоновой записи с открытыми глазами свойственно наличие альфа-активности, характеризующейся значительным индексом ритма в передних отделах полушарий.

Представляют интерес факты, что у большинства испытуемых группы «релаксации» как в фоновой записи, так и при релаксации отмечено «расщепление» доминирующей частоты на два пика – низкочастотный (6–7 Гц) и среднечастотный (10–12 Гц); соотношение этих частот составило $1,62 \pm 0,2$ (см. таблицу).

Это соотношение хорошо известно в литературе как «золотое сечение» [3, 4]. Подобная структура спектра ЭЭГ ранее была обнаружена в условиях формирования положительного психоэмоционального состояния [16]. Расщепление альфа-ритма на две или три гармоники (пика) было отмечено [5] при изучении фазы засыпания, что авторы характеризовали как признак снижения уровня бодрствования, происходящего при тормозном влиянии серотонинергической системы.

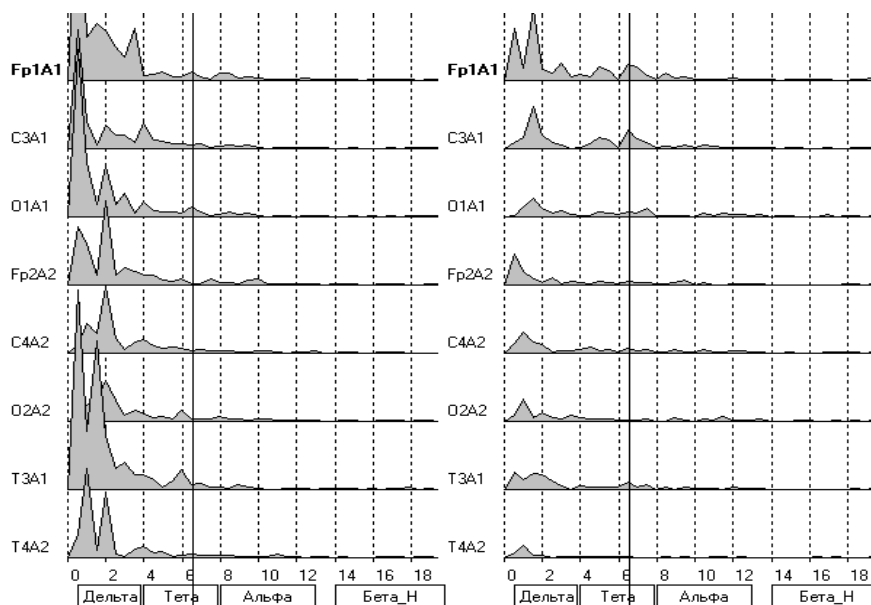
Усредненные данные расщепления пика доминирующей частоты у испытуемых группы релаксации

ФИО	ФЗ	Релаксация
	Соотношение доминирующих частот	
К-ов	12 / 6,9	9,8 / 6,2
К-ий	9,8 / 6,1	10,2 / 6,5
Ш-ва	10,8 / 6,8	9,9 / 6,3
Т-ук	11 / 7	10,5 / 6,5
К-ов	10,4 / 6,7	9,5 / 6,1
Р-ат	10,5 / 7,2	10,4 / 6,6
К-ва	10,9 / 7	11 / 7
M ± m	$10,8 \pm 0,5 / 6,7 \pm 0,3 = 1,61 \pm 0,2$	$9,98 \pm 0,3 / 6,3 \pm 0,2 = 1,59 \pm 0,18$

Примечание. В числителе – доминирующая частота высокочастотного (ФЗ) и среднечастотного (Релаксация) альфа-ритма, в знаменателе – доминирующая частота низкочастотного альфа-ритма.

В силу аналогичности параметров альфа-ритма с пиками низкочастотного (8 Гц) и среднечастотного (10 Гц) диапазона у спортсменов и лиц, занимающихся психофизической регуляцией, можно предположить, что испытуемые этих групп имеют большую гибкость нейродинамических процессов. Повидимому, в ходе тренировок развивается возможность синхронизировать на частотном уровне активность разных структур головного мозга и формировать устойчивые функциональные связи между нейронными сетями. Развитие таких устойчивых связей позволяет мобилизовать ресурсы для регуляции функционального состояния или достижения поставленной задачи [7].

Биоэлектрическая активность мозга при выполнении локальной нагрузки (см. рисунок), выполняемой поочередно правой и левой рукой, практически у всех испытуемых характеризовалась ростом индекса альфа-ритма, который был большим при выполнении пробы второй рукой. Средняя домини-



**Графики результатов анализа (спортсмены).
Локальная нагрузка – начало восстановительного периода (814 с – 885 с)**

рующая частота альфа-активности варьировала в обеих группах от 8 до 9 Гц.

Наибольший рост спектральной мощности волн альфа-диапазона отмечался в центральных и лобно-центральных отведениях с преобладанием в противоположном работающей руке полушарии. По выделенным отведениям отмечалась синхронизация биоэлектрической активности, при этом у спортсменов она наступала почти сразу при выполнении локальной нагрузки и была на 15–25 % длительнее, чем у нетренированных. Характерно, что время выполнения локальной нагрузки до утомления у спортсменов в среднем было на 15–30 с больше, чем у нетренированных. Непосредственно перед отказом от работы у всех испытуемых отмечалась депрессия альфа-ритма.

Анализ тета-активности выявил фазы перехода доминирующей частоты из альфа-диапазона в тета-диапазон и обратно с увеличением мощности тета-ритма. Такой переход совпал с первыми субъективными признаками утомления и составлял в среднем 50 % (контрольная группа) и 70 % (группа спортсменов) от общего времени выполнения нагрузки.

В восстановительном периоде (см. рисунок) наблюдались обратные переходы доминирующей медленной активности с тета-диапазона в альфа-диапазон. Так, основной пик спектральной мощности тета-ритма переходит в среднечастотную область альфа-

диапазона (8–10 Гц). Наиболее проявлена альфа-активность в восстановительном периоде в левом полушарии во фронтально-окципитальном направлении у спортсменов и центрально-затылочном у не занимающихся спортом.

Таким образом, можно предположить, что синхронизация разных отделов коры больших полушарий в единую нейронную сеть при функциональной нагрузке позволяет формировать необходимое функциональное состояние, а регулярная «тренировка» синхронизации биотоков мозга развивает более устойчивые связи между его отделами, интегрируя взаимодействие корковых и подкорковых структур для быстрой мобилизации ресурсов и поддерживая устойчивость необходимого функционального состояния.

Данные биоэлектрической активности мозга при фотостимуляции показывают, что процесс усвоения ритма у спортсменов и занимающихся ПФР выражен лучше, чем у испытуемых контрольной группы, при этом в реакции синхронизации с заданным ритмом у них в большей степени задействованы центральные области коры, в отличие от затылочных отделов у не занимающихся спортом.

Эти факты частично отражают гибкость нервной системы в подстройке к возникающим внешним ритмам и возможность быстро регулировать состояние при «возмущениях» внешней среды. При исследованиях регуля-

торных процессов организма на изменения геомагнитной обстановки показано, что реакция на одиночные магнитные бури имеет трехфазную форму (синхронизация, десинхронизация и фаза релаксации); при этом для здоровых людей характерно преобладание фазы синхронизации, для больных – десинхронизация [8, 9, 12]. В нашем случае у занимающихся психофизической саморегуляцией и большинства спортсменов высокой квалификации доминирующие частоты нервных центров разных отделов коры синхронно и мобильно меняются при изменении параметров внешних стимулов.

Заключение. При произвольном изменении функционального состояния у спортсменов и релаксирующих лиц отмечена способность синхронизировать на частотном уровне активность разных структур головного мозга. Такая регулярная практика, сопровождаемая процессами синхронизации отделов коры и подкорковых структур, позволяет формировать устойчивые функциональные связи (между нейронными сетями). Развитие таких устойчивых связей способствует мобилизации ресурсов, необходимых для организации функционального состояния и выполнения поставленной задачи.

Таким образом, можно отметить, что спортивные тренировки, связанные с задачами управления своим функциональным состоянием, и регулярные занятия психофизической саморегуляцией, также направленные на изменение своего функционального состояния, приводят к выраженным изменениям биоритмики мозга, проявляющимся активизацией альфаритма в низкочастотном и среднечастотном субдиапазонах. Развитые функциональные связи между корой и таламусом и синхронизация активности нейронных сетей с частотой внешнего ритма позволяют увеличивать пластичность нервных процессов и успешно регулировать функциональное состояние организма как для достижения поставленной задачи (ЛН, релаксация), так и при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды.

Литература

1. Аксенов, С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов / С.И. Аксенов. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2004. – 212 с.
2. Бреус, Т.К. Влияние «космической погоды» на биологические объекты, включая человеческий организм / Т.К. Бреус. – М.: Ин-т космических исследований РАН, 2005. – 224 с.
3. Бундзен, П.В. Современные тенденции в развитии технологий психической подготовки спортсменов / П.В. Бундзен // Ежегод. науч. вестник ГАФК им. П.Ф. Лесгафта. – СПб., 2000. – С. 40–44.
4. Быстров, М.В. Всеединство золотой пропорции / М.В. Быстров // Сознание и физ. реальность. – 1999. – Т. 4, № 5. – С. 18.
5. Гусева, Н.Л. Особенности динамики альфа-ритма электроэнцефалограммы и кардиоритмограммы человека при снижении уровня бодрствования / Н.Л. Гусева, Г.А. Софронов, Н.Б. Суворов // Вестник Рос. воен.-мед. акад. – 2007. – № 3(19). – С. 24–31.
6. Журавлев, Б.В. Реверберационная цикличность между нервными клетками мозга как механизм саморегуляционных систем организма / Б.В. Журавлев. – М.: НИИ Нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, 2006. – 194 с.
7. Попова, Т.В. Вариабельность биоэлектрической активности мозга при различных состояниях спортсменов / Т.В. Попова, Ю.И. Корюкалов, О.Г. Коурова // Теория и практика физ. культуры. – 2006. – № 8. – С. 20–22.
8. Рагульская, М.В. Этапы развития гелиобиологии – от работ А.Л. Чижевского до современности / М.В. Рагульская, С.М. Чибисов // Науч. труды VIII Междунар. конгресса «Здоровье и образование в XXI веке. Концепции болезни цивилизации», 14–17 нояб. 2007 г. – М.: РУДН, 2007. – С. 520–523.
9. Рагульская, М.В. Основные этапы развития представлений о влиянии развития космоса на биосферу и ноосферу / М.В. Рагульская, С.М. Чибисов // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 2. – С. 62–64.
10. Сороко, С.И. Индивидуальные стратегии адаптации человека в экстремальных условиях / С.И. Сороко, А.А. Алдашева // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 6. – С. 78–86.
11. Сороко, С.И. Возможности направленных перестроек параметров ЭЭГ у человека с помощью метода адаптивного биоуправления / С.И. Сороко, Т.Ж. Мусуралиев // Физиология человека. – 1995. – Т. 21, № 5. – С. 5–8.
12. Чибисов, С.М. Космос и биосфера. Влияние магнитных бурь на хроноструктуру биологических ритмов / С.М. Чибисов // Вест-

ник РУДН. Серия «Медицина». – 2006. – № 3. – С. 35–44.

13. Ivanitsky, A.M. Cortical connectivity during word association search / A.M. Ivanitsky, A.R. Nikolaev, G.A. Ivanitsky // *Int. J. Psychophysiol.* – 2001. – Vol. 42, № 1. – P. 35–53.

14. Klimesch, W. EEG alpha oscillation: The inhibition-timing hypothesis / W. Klimesch, P. Sauseng, S. Hanslmayr // *Brain Res. Rev.* – 2007. – Vol. 53. – P. 63–88.

15. Nunez, P. Spatial-temporal structures of human alpha rhythms: theory, microcurrent sources, multiscale measurements, and global binding of networks / P. Nunez, B. Wingeier, R. Silberstein // *Hum. Brain Mapp.* – 2001. – Vol. 13. – P. 125–164.

16. Yoshida, H. Source models of sleep spindles using MEG and EEG measurements / H. Yoshida, K. Iramina, S. Ueno // *Brain Topogr.* – 1996. – Vol. 8, № 3. – P. 303–307.

Корюкалов Юрий Игоревич, кандидат биологических наук, докторант кафедры предпринимательства и менеджмента, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), arhy82@mail.ru.

Поступила в редакцию 20 февраля 2015 г.

DOI: 10.14529/ozfk150205

SYNCHRONIZATION OF BIOELECTRICAL ACTIVITY ALPHA-RHYTHM OF THE BRAIN REGULATORY FUNCTION

Yu.I. Koryukalov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, arhy82@mail.ru

The aim is to reveal the synchronization of the alpha rhythm in the functional state organization of athletes and experimental subjects engaged in psychoregulation. We studied the synchronization of the alpha rhythm at the relaxation and the local load in athletes and experimental subjects engaged in psychoregulation at the age of 18–30 years using ergograph. Brain action currents were registered by EEG. We found out that arbitrary alteration of the functional state in athletes and in people practicing psychoregulation was accompanied with ability to synchronize the activity of different brain structures at the alpha-rhythm frequency. Sports training sessions associated with management of one's functional state as well as regular psychophysical self-regulation result in noticeable changes in brain biorhythmicity manifested in increased activity of alpha-rhythm in low-frequency and mid-frequency subranges.

Keywords: alpha-rhythm, synchronization of brain action currents, local load, athletes, relaxation, self-regulation, functional state.

References

1. Aksenov S. I. *Voda i ee rol' v regulyatsii biologicheskikh protsessov* [Water and Its Role in the Regulation of Biological Processes]. Moscow, Institute of Computer Science Publ., 2004. 212 p.
2. Breus T.K. *Vliyanie "kosmicheskoy pogody" na biologicheskie ob"ekty, vklyuchaya chelovecheskiy organism* [The Influence of "Space Weather" on Biological Objects, Including the Human Body]. Moscow, Space Research Institute Publ., 2005. 224 p.
3. Bundzen P.V. [Current Trends in Technology Mental Training of Athletes]. *Ezhegodnyy nauchnyy vestnik GAFK im. P.F. Lesgafta* [Annual Scientific Bulletin GAFK them. PF Lesgaft], 2000, pp. 40–44. (in Russ.)
4. Bystrov M.V. [Unity Golden Ratio]. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'* [Consciousness and Physical Reality], 1999, vol. 4, no. 5, p. 18.
5. Guseva N.L., Sofronov G.A., Suvorov N.B. [Dynamics of EEG Alpha Rhythm and Kardiorit-mogrammy Man with a Decrease in the Level of Consciousness]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy], 2007, no. 3(19), pp. 24–31. (in Russ.)

6. Zhuravlev B.V. *Reverberatsionnaya tsiklichnost' mezhdru nervnymi kletkami mozga kak mekhanizm samoregulyatsionnykh sistem organizma* [Reverberation Cyclicity Between Nerve Cells in the Brain as a Mechanism of Self-regulatory Systems of the Body]. Moscow, Research Institute of Normal Physiology. PKAnohin RAMS Publ., 2006. 194 p.
7. Popova T.V., Koryukalov Yu. I., Kourova O.G. [The Variability of Brain Activity in Various States of Athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2006, no. 8, pp. 20–22. (in Russ.)
8. Ragul'skaya M.V., Chibisov S.M. [Heliobiology Stages of Development - From Work to Modern A.L. Chizhevsky]. *Nauch. trudy VIII Mezhdunarod. kongressa "Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke. Kontseptsii bolezney tsivilizatsii"* [Nauchn.Trudy VIII Congress of the International. Health and Education in the XXI Century. Concept of Diseases of Civilization]. Moscow, RUDN Publ., 2007, pp. 520–523. (in Russ.)
9. Ragul'skaya M.V., Chibisov S.M. [The Main Stages of the Development of Ideas About the Influence of Space on the Biosphere and the Noosphere]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of Modern Natural Science], 2008, no. 2, pp. 62–64. (in Russ.)
10. Soroko S.I., Aldasheva A.A. [Individual Strategies of Human Adaptation to Extreme Conditions]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2012, vol. 38, no. 6, pp. 78–86. (in Russ.)
11. Soroko S.I., Musuraliev T.Zh. [Features Aimed Rearrangements EEG Parameters in Humans by the Method of Adaptive Biocontrol]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 1995, vol. 21, no. 5, pp. 5–8. (in Russ.)
12. Chibisov S.M. [Space and Biosphere. The Influence of Magnetic Storms on Hronostrukturu Biological Rhythms]. *Vestnik RUDN. Ser. Meditsina* [Herald Peoples' Friendship University. Ser. Medicine], 2006, no. 3, pp. 35–44. (in Russ.)
13. Ivanitsky A.M., Nikolaev A.R., Ivanitsky G.A. Cortical Connectivity During Word Association Search. *Int. J. Psychophysiol.*, 2001, vol. 42, no. 1, pp. 35–53. DOI: 10.1016/S0167-8760(01)00140-4
14. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG Alpha Oscillation: The Inhibition-timing Hypothesis. *Brain Res. Rev.*, 2007, vol. 53, pp. 63–88. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2006.06.003
15. Nunez P., Wingeier B., Silberstein R. Spatial-temporal Structures of Human Alpha Rhythms: Theory, Microcurrent Sources, Multiscale Measurements, and Global Binding of Networks. *Hum. Brain Mapp.*, 2001, vol. 13, pp. 125–164. DOI: 10.1002/hbm.1030
16. Yoshida H., Iramina K., Ueno S. Source Models of Sleep Spindles Using MEG and EEG Measurements. *Brain Topogr.*, 1996, vol. 8, no. 3, pp. 303–307. DOI: 10.1007/BF01184789

Received 20 February 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Корюкалов, Ю.И. Синхронизация альфа-ритма биоэлектрической активности в регуляторной функции мозга / Ю.И. Корюкалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 27–32. DOI: 10.14529/ozfk150205

REFERENCE TO ARTICLE

Koryukalov Yu.I. Synchronization of Bioelectrical Activity Alpha-Rhythm of the Brain Regulatory Function. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Education, Healthcare Service, Physical Education*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 27–32. (in Russ.) DOI: 10.14529/ozfk150205