

Альфа активность ЭЭГ при дремоте, как необходимое условие эффекторного взаимодействия с внешним миром

Дорохов В.Б. (ybdorokhov@mail.ru)

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

Известно, что в спокойном состоянии у человека альфа ритм (8-12Гц) электроэнцефалограммы (ЭЭГ) регистрируется в затылочной области мозга при закрытых глазах. Рядом авторов показана локализация генераторов этого ритма в зрительной коре. Существуют представления, что альфа ритм, является “холостым ходом” или “ритмом покоя” зрительной коры, так как он исчезает при открывании глаз. Сходные ритмы ЭЭГ наблюдаются также в соматосенсорной коре – они блокируются движением или тактильным стимулом; а в слуховой коре - при предъявлении звуковой стимуляции. Закрывание глаз довольно быстро приводит к снижению уровня бодрствования и развитию дремотного состояния. На ранней стадии дремоты амплитуда альфа ритма увеличивается, а при углублении дремоты альфа ритм замещается тета/дельта активностью (10),.

Анализ работ (8), в которых исследовалась динамика альфа ритма ЭЭГ при переходе от бодрствования ко сну, показывает, что увеличение мощности в низкочастотном альфа диапазоне (6-9 гц.), связано с наличием «усилий» (и вероятно трудностью) для поддержания субъектом определенного уровня бодрствования и необходимого для взаимодействия с внешней средой. В частности показано (9), что при засыпании испытуемые, получившие инструкцию нажимать кнопку при подаче звукового щелчка, продолжали выполнять эту инструкцию до тех пор, пока мощность альфа ритма была довольно высока, несмотря на увеличение мощности ЭЭГ в тета и дельта диапазонах. Прекращение нажатий сопровождалось резким снижением мощности ЭЭГ в альфа диапазоне, что, по мнению этих авторов, можно считать моментом наступления сна (9).

По современным представлениям (7), генез альфа ритма определяется таламо-кортикальными нейронными сетями и связан с взаимодействием субъекта с внешним миром. А генез тета ритма - обуславливается гиппокампадно-кортикальной системой, участвующей в функционировании памяти, то есть более ориентирован на прием и обработку информации от внутренней среды организма. Эти нейрофизиологические представления совпадают с существующим предположением (6,8), что при развитии дремоты происходит изменение состояния сознания, при котором внимание от внешнего мира переключается на обработку информации от внутренней среды организма.

Klimesch (7) рассматривая участие альфа ритма в психических процессах, выделяет два режима функционирования нейронных сетей, участвующих в его генезе: 1) синхронизацию 1-го типа (синхронная активность корковых нейронов больших областей в широком частотном диапазоне), которая отражает низкую психическую активность мозга и легко регистрируется макроэлектродами со скальпа. 2) синхронизацию 2-го типа (суммация синхронной активности корковых нейронов небольших областей мозга в разных частотных диапазонах), которая на макроуровне дает слабый сигнал и обычно определяется, как десинхронизация и связана с высоким уровнем психической активности субъекта. По-видимому, изменение психической активности при снижении уровня бодрствования определяется переходом из одного режима работы нейронных сетей в другой, но в обоих случаях наличие альфа ритма является необходимым условием эффекторного взаимодействия организма с внешней средой. Уровень дремоты, когда происходит замещение альфа ритма на тета

активность, можно считать переходным для изменения состояния сознания, при котором внимание от внешнего мира переключается на обработку информации от внутренней среды организма (6,8,9).

Следует отметить, что переход от бодрствования ко сну является циклическим процессом, для которого характерно периодическое появление на фоне тета/дельта активности, характерных для «дремотной» ЭЭГ - активационных процессов. По существующим представлениям (3), периодическое появление фазических активационных процессов во время сна обеспечивает гибкий контакт спящего с окружающей средой, сохраняя возможность экстренного пробуждения при изменении внешней или внутренней среды организма (4). Известно, что активационные процессы, в зависимости от глубины сна, имеют различное электрофизиологическое проявление. При развитии дремотного состояния и на первой стадии сна электроэнцефалографическая активация мозга проявляется в виде альфа веретен. Во второй стадии сна основным активационным паттерном ЭЭГ становится К – комплекс (4).

Основываясь на вышеизложенном, можно предполагать, что альфа ритм ЭЭГ при сниженном уровне бодрствования является необходимым условием для моторного взаимодействия организма с внешней средой. Для проверки этой гипотезы мы провели две серии экспериментов с регистрацией ЭЭГ при сниженном уровне бодрствования, в которых испытуемые выполняли психомоторный тест с закрытыми глазами (1). Динамика ЭЭГ сравнивалась в трех состояниях: 1) в бодрствующем состоянии при правильном выполнении теста, 2) при появлении кратковременных нарушений деятельности, вызываемых развитием дремоты и 3) при спонтанном восстановлении деятельности после ее нарушений. Особенности этого теста – счет “про себя” (без подачи внешнего стимула) с одновременным нажатием на кнопку, дает возможность исследовать фазическую активацию мозга при “спонтанном” (без экстрасимула) восстановлении деятельности, нарушенной развитием дремоты.

МЕТОДИКА

Испытуемые с закрытыми глазами в заглушенной, затемненной комнате выполняли психомоторный тест. В первой серии экспериментов тест выполняли в положении сидя, а во второй серии – в лежачем положении. Особенностью психомоторного теста был счет «про себя», без подачи внешнего стимула. Тест состоял из двух последовательно чередующихся частей. В первой серии испытуемые (N=69, обоюго пола, 17-69 лет) в положении сидя: считали от 1 до 10 с одновременными нажатиями на кнопку пальцами правой руки при каждом отсчете; затем считали от 1 до 5 без нажатий на кнопку. Во второй серии испытуемые (N=20, женского пола, 19-22 года) в положении лежа считали от 1 до 10 с одновременными нажатиями на кнопку при каждом отсчете, попеременно меняя руку после каждых 10 нажатий. Для регистрации не только момента, но и силы нажатий использовали плоскую кнопку, чувствительную к силе нажатий, которую помещали между большим и указательным пальцами рук. Длительность эксперимента была 40-50 минут. Регистрировали ЭЭГ: 1 серия – CZ, 2 серия - C3,C4,O1,O2; электроокулограмму (ЭОГ) горизонтальных и вертикальных движений глаз и нажатия на кнопку.

Регистрацию полиграфических показателей: 1) в первой серии проводили на восьмиканальном полиграфе MacLab 8E, (Австралия), с дополнительными внешними усилителями, 2) во второй серии использовали восьмиканальный энцефалограф фирмы “Nichon Kohden” (Япония) и восьмиканальный аналоговый магнитограф фирмы “Teac” (Япония). Для регистрации силы нажатий на кнопку использовали усилитель постоянного тока фирмы “Penny+Giles” (США).

Основываясь на ЭЭГ и ЭОГ показателях мы выделяли три стадии дремоты (5,10): 1) легкая дремота – исчезают быстрые вертикальные движения глаз и появляются медленные движения глаз (МДГ), ЭЭГ сходна с бодрствующим состоянием, преобладает альфа ритм и его амплитуда увеличивается; 2) средняя дремота - амплитуда МДГ увеличивается, а частота их колебаний

замедляется, при этом амплитуда альфа ритма снижается и появляются колебания в диапазоне тета/дельта ритма и 3) глубокая дремота – МДГ исчезают, а ЭЭГ картина сходна с первой стадией сна: преобладают колебания в тета/дельта диапазонах, появляются острые волны и К-комплексы.

Выделение ритмических составляющих ЭЭГ, появление фазических паттернов ЭЭГ, оценку стадий дремоты и характера деятельности (нажатия на кнопку) проводили визуально, а для дальнейшего анализа использовали статистические методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Значительное ограничение сенсорного притока (закрытые глаза, заглушенная камера, расслабленная поза) и монотонный характер деятельности при выполнении теста вызывали быстрое развитие дремотного состояния и появление ошибок в деятельности (через 5-15 мин от начала эксперимента). Вначале появлялись моторные нарушения деятельности, в виде уменьшения силы нажатия на кнопку, вызванные снижением тонуса мышц. Затем при углублении дремоты нарушались психические процессы, связанные с устным счетом: изменялось количества нажатий в сериях нажатий, увеличивалась длительность интервалов между отдельными нажатиями и между сериями нажатий.

Анализ ЭЭГ при нарушениях выполнения теста, показал хорошую корреляцию изменений ЭЭГ с показателями деятельности при разных уровнях дремоты. В бодрствующем состоянии эта корреляция анализировалась у 83 испытуемых. При снижении уровня бодрствования измерения проводились у 80 испытуемых, анализировалось более 1000 участков записей со снижением силы нажатия и их исчезновением на разных стадиях дремоты. Получены следующие результаты. 1) В бодрствующем состоянии и при легкой дремоте необходимым условием для нажатия на кнопку было наличие альфа-ритма (в 100% случаев у 83 испытуемых). 2) Снижение силы нажатия при углублении дремоты, сопровождалось уменьшением амплитуды альфа ритма (в 80% - 90% случаев) и появлением тета волн (в 60% - 80% случаев). 3) При прекращении нажатий на кнопку, вызываемыми дальнейшим углублением дремоты, ритмические колебания в альфа диапазоне ЭЭГ не наблюдались в 100% случаев. При этом альфа ритм замещался ЭЭГ активностью в тета/дельта диапазонах 4) Спонтанное (без внешнего стимула) восстановление нарушенной деятельности во всех случаях (100%) сопровождалось характерными изменениями в ЭЭГ, которые мы обозначили, как фазические активационные паттерны ЭЭГ (ФАП).

В зависимости от характера нарушения деятельности и глубины дремотного состояния **ФАП** имели разную структуру, но их необходимой составляющей было наличие альфа-ритма. Мы выделили два основных типа **ФАП**. Первый тип (**ФАП-1**) – наблюдался на ранних стадиях дремоты в обеих сериях экспериментов при изменениях характера деятельности: 1) в начале новой серии нажатий, 2) при спонтанном восстановлении силы нажатия на кнопку, после моторных нарушений деятельности в виде уменьшения силы нажатия на кнопку. Второй тип (**ФАП-2**) регистрировался на глубоких стадиях дремоты, только в положении лежа (вторая серия экспериментов) при спонтанном восстановлении деятельности, после нарушения психических компонентов деятельности, связанных с устным счетом, сопровождаемых микроэпизодами сна по ЭЭГ показателям. Первый тип (**ФАП-1**) –выглядел, как фазическое увеличение амплитуды альфа ритма, то есть как альфа веретено, предшествующее или совпадающее с началом новой серии нажатий или увеличением силы нажатия на кнопку. Довольно часто (в 40-60% случаев), в составе этого альфа веретена наблюдались более высокочастотные составляющие ЭЭГ в диапазоне бета ритма. При легкой и средней степенях дремоты начало альфа веретена в 50-70% случаев совпадало с началом новой серии нажатий. В остальных случаях увеличение амплитуды альфа ритма наблюдалось одновременно с фазическим увеличением силы нажатия на кнопку в произвольном месте серии нажатий. Время между началом альфа веретена и увеличением силы нажатия на кнопку обычно не превышало 1-2 секунд. В обеих

сериях экспериментов было проанализировано более 1000 фрагментов, содержащих эти паттерны у 80 испытуемых. Второй тип (**ФАП-2**) состоял из альфа веретен с включением высокочастотных составляющих ЭЭГ (**ФАП** первого типа), наложенных на более медленные колебания ЭЭГ, которые являлись компонентами К-комплекса. **ФАП-2** наблюдались при спонтанном восстановлении деятельности, только в положении лежа после грубых нарушений деятельности, сопровождаемых микроэпизодами сна по ЭЭГ показателям. Довольно часто при углублении дремоты наблюдалось последовательное развитие **ФАП-2**. Вначале, при спонтанном восстановлении деятельности, регистрировались альфа веретена, наложенные на поздние, медленные компоненты К-комплекса, а затем к ним присоединялись ранние, более быстрые компоненты К-комплекса. Во второй серии экспериментов испытуемых с такой динамикой развития **ФАП-2** было 12 человек и у них было проанализировано 213 фрагментов, содержащих эти паттерны.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Таким образом, результаты нашей работы показывают, что при выполнении психомоторного теста с закрытыми глазами необходимым условием моторной деятельности (нажатия на кнопку) было наличие альфа-ритма. Прекращение нажатий на кнопку при углублении дремоты сопровождалось замещением альфа ритма, активностью в тета/дельта диапазонах ЭЭГ. Интересен и показателен результат, что в дремотном состоянии необходимым условием спонтанного восстановления деятельности, было появление альфа активности в виде альфа веретен. Причем, после значительных нарушений деятельности, появлению альфа веретена предшествовал высокоамплитудный К-комплекс, который обычно регистрируется на второй стадии сна. Возникает вопрос, что является первичным при спонтанном восстановлении деятельности - наличие моторной команды в памяти, или активация нейронных сетей, генерирующих альфа ритм, которые создают условия для доступа моторной команды из оперативной памяти к исполнительным моторным структурам. Для ответа на этот вопрос полезно привлечь современные представления о роли фазических активационных процессов во время сна (4), функциональная роль, которых определяется необходимостью поддерживать гибкий контакт спящего организма с окружающей средой.

Предполагают (4,6), что каждый раз, когда происходит фазическая активация мозга, осуществляются психологические процессы, связанные с анализом всей доступной информации и принятием решения проснуться или продолжать спать. На нейрофизиологическом уровне этому соответствует процесс объединения и синхронизации различных структур мозга ("binding processes"), обеспечивающий доступ к оперативной памяти всей необходимой информации от внешней и внутренней сред организма для последующего выполнения адаптивной деятельности. В последние годы "binding process" рассматривают (2,3,6), как один из возможных нейрофизиологических механизмов функционирования сознания. При этом ведущая роль в функционировании сознания отводится кортико-таламическим взаимодействиям, которые осуществляют синхронизацию процессов в разных структурах мозга, необходимую для возникновения субъективного образа внешней среды и организации адекватной деятельности. Предполагают (2,3,6), что в разных функциональных состояниях организма, ЭЭГ коррелятом такой синхронизации могут быть, как высокочастотные ритмы (от 40 гц и выше), так и ритмы в альфа диапазоне (8-12 гц). Результаты нашей работы, служат аргументом в пользу того, что при низком уровне бодрствования - ЭЭГ коррелятом "binding process" может быть альфа ритм, который запускается эндогенными механизмами и создает условия для доступа моторной команды из оперативной памяти к исполнительным моторным структурам.

Есть основания полагать, что фазическая активация мозга в цикле сон/бодрствование (4,11) может быть связана с циркадианной системой, которая контролирует протекание циклических процессов в организме, варьирующих в широком диапазоне от суток - до минут и секунд (11). По

нашему мнению, дальнейшим развитием этого предположения может быть гипотеза о некоторой «вторичности» психических процессов по отношению к циркадианной системе организма, которая контролирует периодический характер нейрофизиологических механизмов, определяющих функционирование “binding processes” (2,3,6) и, соответственно, дискретный характер сознания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорохов В.Б. (2000) Психомоторный тест для оценки дневной сонливости. // Материалы «XXX Всероссийского совещания по проблемам высшей нервной деятельности». Санкт-Петербург. 663-664
2. Chalmers D.J. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. New York: Oxford University Press. 1996.
3. Crick F., Koch C. (1990) Towards a neurobiological theory of consciousness. // *Seminar in Neuroscience*. 2: 263-275.
4. Halasz P. (1998) Hierarchy of micro-arousals and the microstructure of sleep. // *Neurophysiol. Clin.* 28: 461-475.
5. Hiroshige Y., Dorokhov V.B. (1997) Hemispheric asymmetry and regional differences in electroencephalographic alpha activity at the wake-sleep transition // *Japan. Psychol. Res.* 39(2): 75-86.
6. Hobson J.A, Pace-Schott E., Stickgold R (2000) Dreaming and the brain: toward a cognitive neuroscience of conscious states. *Behavioral and Brain Sciences*. 23(6): 54-138.
7. Klimesch W. (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. // *Brain Res. Rev.* 29(2-3): 169-195.
8. Liberson WT, Liberson CW. (1965) EEG records, reaction times, eye movements, respiration, and mental content during drowsiness. *Rec Adv Bio Psychiat.* 8: 295-302.
9. Ogilvie R.D.; Simons I.A., Kuderian R.H., MacDonald T., Rustenburg J. (1991) Behavioral, event related potential and EEG/FFT changes at sleep onset. // *Psychophysiology*. 28: 54-64.
10. Santamaria J., Chiappa K.H. (1987). *The EEG of drowsiness*. New York, Demos Publications. 202 P.
11. Wyatt J.K. et al. (1997) Interaction of circadian and sleep/wake homeostatic-processes modulate psychomotor vigilance test (PVT) performance. // *J. Sleep Res.* 1997. 26: 759.

Работа выполнена при поддержке Российского Гуманитарного Научного Фонда (проект № 01-0600186а)