

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(ПСИХИЧЕСКОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821.7

**“МИКРОЦИКЛИЧЕСКИЕ” ИЗМЕНЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ МОЗГА В РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ
ЕСТЕСТВЕННОГО СНА У ЧЕЛОВЕКА**

© 2013 г. А. Н. Шеповальников, Е. И. Гальперина, О. В. Кручинина

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург,*

e-mail: galperina-e@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.03.2012 г.

Принята в печать 19.10.2012 г.

В работе приводятся сведения о некоторых систематически регистрируемых фазических ЭЭГ-феноменах на протяжении цикла бодрствование – сон, а также данные о неоднородности ЭЭГ-стадий сна, формирующих последовательные макроциклы сна у человека. Эти кратковременные изменения ЭЭГ нередко имеют тенденцию к периодизации, особенно в начальные периоды сна и при переходных состояниях, при этом наблюдаются своеобразные микроциклы сна. Описана попытка выявления микроструктур ЭЭГ-стадий сна на протяжении цикла бодрствование – сон на основе выделения семи кластеров, отражающих изменения биопотенциального поля мозга при его представлении в n -мерном факторном пространстве. Установлено, что большинство стадий сна представлено тремя-четырьмя кластерами, но некоторые периоды сна (особенно стадия В, по Лумису, и 1REM) демонстрируют более однородную структуру. Высказано предположение, что выявленная неоднородность микроструктуры пространственной организации колебаний биопотенциалов мозга в пределах отдельных стадий сна отражает динамику нейрофизиологических процессов, способствующих более эффективной реализации репаративных и гомеостатических функций сна.

Ключевые слова: сон, микроциклы сна, ЭЭГ, пространственная организация биопотенциалов мозга, неоднородность одноименных стадий сна.

**“Microcyclic” Changes in Brain Bioelectrical Activity during Different
Stages of Human Natural Sleep**

A. N. Shepovalnikov, E. I. Galperina, O. V. Kruchinina

*Laboratory of Neurophysiology of Child, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry,
Russian Academy of Sciences, St. Petersburg,*

e-mail: galperina-e@yandex.ru

This study presents data on some phasic EEG phenomena regularly recorded during sleep – wakefulness cycle and heterogeneity of EEG sleep stages forming consecutive human sleep macrocycles. These short-term EEG changes quite often tend to periodization, especially during initial sleep-stages and transitive states (sleep microcycles). An attempt was made to reveal EEG microstructures in sleep – wakefulness cycle on the basis of 7 clusters reflecting changes in the biopotential field of the brain represented in n -dimensional factorial space. It was found that most sleep stages were presented by 3–4 clusters, but some sleep periods (such as B (Loomis, 1937) and 1REM) showed more homogeneous structure. It was suggested that the heterogeneity of the EEG spatial organization within sleep stages reflect the dynamics of neurophysiological processes underlying reparative and homeostatic sleep functions.

Keywords: sleep, sleep microstructure, EEG, spatial brain biopotentials organization, heterogeneity of similar sleep stages.

DOI: 10.7868/S0044467713010127

Среди основных направлений развития современной сомнологии выделяются работы, нацеленные на детальное изучение микроструктуры сна, в частности тех показателей, которые отражают кратковременные изменения биоэлектрической активности мозга в пределах отдельных стадий сна. К их числу относятся исследования феномена “циклично чередующегося паттерна” ЭЭГ (cycling alternating pattern-SAP) [14, 16, 19, 22]. Феномен SAP регулярно регистрируется не только при различных нарушениях сна, но и в норме, причем чаще он наблюдается во время поверхностного сна и в переходных состояниях, но может быть представлен и в дельта-сне в виде кратковременной генерализованной реорганизации ЭЭГ. В зависимости от доминирующей частоты компонентов ЭЭГ выделяют три основных субтипа SAP — A1, A2, A3, различающихся между собой по продолжительности, а также наличие или отсутствие К-комплексов, дельта-вспышек, вертекс-потенциалов и т.п. В отдельные периоды сна, обычно во время I фазы, феномен SAP проявляет тенденцию к квазиритмичности. Природа этого феномена еще недостаточно изучена, но уже имеющиеся данные позволяют предполагать, что такие “микроструктурные” изменения системной деятельности мозга, происходящие в пределах отдельных стадий сна, могут иметь существенное функциональное значение [22]. Неоднородность функционального состояния мозга на протяжении одной и той же стадии сна подтверждается также наличием таких электрографических феноменов, как пароксизмы альфа-ритма (при засыпании), спонтанные К-комплексы (особенно в начале II стадии сна), генерализованные вспышки особенно высокоамплитудных медленных волн (в глубоком сне), появление на ЭЭГ альфаподобного ритма (во время парадоксального сна) и регистрацией других феноменов, нередко сочетающихся с кратковременными изменениями вегетативных процессов (ритма и глубины дыхания, частоты сердцебиений, появлением кожно-гальванической реакции, КГР). Очевидно, эти физические процессы на протяжении всех периодов сна, особенно в переходных состояниях, отражают процессы кратковременного изменения баланса взаимодействия дизэнцефальных и стволовых центров, ответственных за переключение различных фаз сна и бодрствования [21].

В настоящем сообщении приведены предварительные результаты электроэнцефалографических исследований структуры естественного сна у детей и взрослых, свидетельствующие о существенной неоднородности ЭЭГ на протяжении одноименных стадий сна. Цель нашего исследования — попытаться выявить “микроциклические” изменения структуры пространственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга, которые отражают наличие кратковременных периодов реорганизации работы коры, свидетельствующие о возможности церебральных структур систематически, но лишь непродолжительное время функционировать в других стадиях сна — глубоких или, наоборот, менее глубоких.

МЕТОДИКА

В работе использованы результаты непрерывной электрополиграфической регистрации (ЭПГ) естественного ночного сна, выполненной на детях и взрослых разного возраста (8–30 лет). Исследовано девять здоровых испытуемых, правшей, обоего пола, которые дали письменное информированное согласие на проведение наблюдений.

Регистрацию производили на 24-канальном компьютерном электроэнцефалографе с полосой пропускания 0.3–40 Гц, с частотой квантования 185 в 1 с по каждому из каналов. Запись проводили непрерывно в течение всей ночи (обычно с 00:00 до 08:00 утра) в экранированной камере в условиях необходимого комфорта. Перед засыпанием электрополиграмму регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами.

Для регистрации ЭЭГ использовалось 19 каналов. Места расположения электродов соответствуют международной схеме 10–20. Отведения — монополярные, с объединенным референтным электродом на мочках ушей. Регистрировали также электрокардиограмму, электроокулограмму и электромиограмму мышц шеи.

Для анализа использовали безартефактные стандартные 4-секундные эпохи анализа ЭЭГ для всех состояний, кроме стадий сна III и IV, когда использовалась 8-секундная эпоха анализа. Классификацию ЭЭГ-стадий сна производили по [20] на основе данных полиграммы, однако при анализе ЭЭГ в период засыпания (т.е. в I стадии сна) мы ориентиро-

вались на классификацию А. Лумиса с соавт. [18], поскольку была необходимость использовать более дифференцированную оценку этого переходного состояния между бодрствованием и сном. Поэтому мы выделяли в периоды начальной стадии сна I два состояния — I(A), с наличием остаточных веретен альфа-ритма, и I(B), с отсутствием ритмической альфа-активности наряду с появлением нерегулярных волн тета- и дельта-диапазонов с амплитудой до 80–120 мкВ.

Для оценки динамики доминирующих периодов ЭЭГ использовали прибор, позволяющий обеспечить предельное амплитудное ограничение волн ЭЭГ до значений +1 и -1 (“клиппирование” ЭЭГ). Для отображения информации, заключенной в интервалах между моментами пересечения ЭЭГ нулевой линии, каждый интервал регистрировали в виде точки, расположенной на определенной высоте от оси отсчета. Чем больше был период между точками пересечения нулевой линии (т.е. чем больше был период соответствующей полуволны), тем длиннее был путь этой точки и тем выше она оказывалась на экране монитора в момент автоматической подсветки. Таким образом, каждый период, связанный с дельта-волной, отмечался точкой в верхних частях кадра, а периоды, отражающие быстрые волны ЭЭГ, — в нижней. Масштабная сетка позволяла точно оценивать число волн соответствующего частотного диапазона ЭЭГ за период регистрации в различных периоды цикла бодрствование — сон.

Основная часть исследований была направлена на выявление закономерностей изменения пространственной структуры биопотенциального поля мозга. Эти исследования базировались на оригинальной методике анализа ЭЭГ в многофакторном пространстве, разработанной в нашей лаборатории [8, 10, 11], и некоторых ее модификациях, позволяющих количественно оценивать степень пространственной согласованности синхронных изменений многоканальной ЭЭГ (подробнее об использованном математическом аппарате см. в приложении к [1]).

При этом ЭЭГ каждого канала была представлена в трехмерном факторном пространстве в виде радиус-вектора. Углы между этими радиус-векторами в пространстве общих факторов обратно пропорциональны степени статистического сходства между соответствующими ЭЭГ. Так, 0 град. соответствует коэф-

фициенту корреляции (КК), равному +1, 90 град. — 0, а 180 град. — КК -1. Объем, занимаемый всей совокупностью пучка радиус-векторов (в нашем случае 19) в n -мерном пространстве, будет являться интегральным показателем общей скоррелированности всех ЭЭГ-процессов, условно названный нами “показателем объемов” (VOL). Величина этого показателя колеблется от 0 до 1, если VOL = 0, процессы линейно максимально зависимы друг от друга, а если VOL = 1, то регистрируемые процессы статистически не зависят друг от друга (при оценках КК, при $\tau = 0$). Используя этот показатель, можно количественно оценивать степень тесноты пространственного взаимодействия колебаний биопотенциалов мозга по всей конвексальной поверхности головы и наблюдать за ее динамикой на протяжении длительного времени.

Поскольку перед нами стояла задача на протяжении длительного времени непрерывных наблюдений выявить эпохи ЭЭГ, имеющие высокую степень сходства, мы использовали кластерный анализ по методу К-средних (программный пакет Statistica 6), применив разбиение на семь кластеров.

Достоверность результатов оценивалась по критерию t Стьюдента при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭЭГ, как известно, отличается значительной неоднородностью не только при спокойном бодрствовании, но и во сне. Однако стереотипные паттерны ЭЭГ позволяют, тем не менее, достаточно надежно выделять четыре—пять стадий ортодоксального и одну фазу парадоксального сна, опираясь на формализованные критерии [20]. В то же время в пределах каждой стадии регулярно регистрируются ЭЭГ-феномены, позволяющие выявлять неоднородность структуры биоэлектрической активности в различные периоды сна, особенно при засыпании. Эта неоднородность проявляется и в генерализованных, и в локальных изменениях частотно-амплитудного спектра ЭЭГ, и в периодическом появлении характерных электрографических комплексов, а также в реорганизации пространственно-временных отношений волн ЭЭГ, отражающих целостную деятельность мозга.

Изменения ЭЭГ в пределах одной стадии сна нередко имеют тенденцию к формированию своеобразных “микроциклов”, что про-

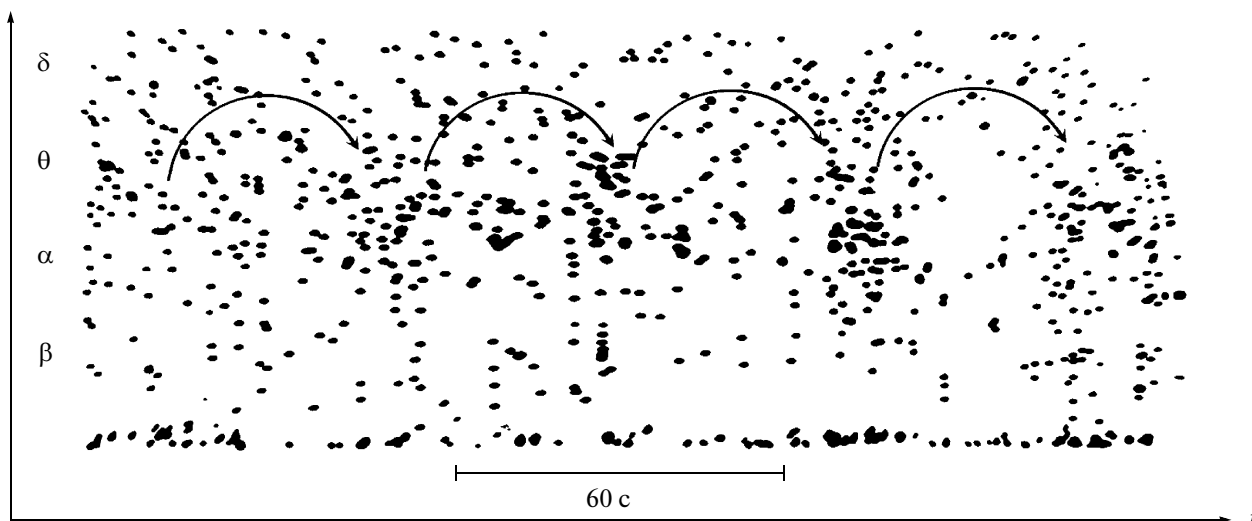


Рис. 1. “Микроциклы” клипированной ЭЭГ, отражающие изменение периодов альфа-, тета- и дельта-волн при засыпании. Приведен пример ЭЭГ одного испытуемого. По оси ординат – частотные полосы ЭЭГ; по оси абсцисс – время.

Fig. 1. “Microcycles” of clipped EEG, reflecting changes of an alpha-, teta- and delta-waves periods during falling asleep. An example of EEG of one subject is presented. On an axis of ordinates – frequency bands of EEG; on an axis of abscisses – time.

является в квазипериодическом появлении определенных ритмов (альфа, сигма) и может быть выявлено даже при регистрации одного отведения ЭЭГ. В качестве примера мы приводим рис. 1, где показаны типичные изменения периодограммы ЭЭГ, зарегистрированной у взрослого человека при засыпании. Обращает на себя внимание тенденция к периодизации в увеличении количества альфа-, тета- и дельта-волн с периодом, близким к 60 с. Распределение периодов волн более тонко реагирует на изменение ЭЭГ, чем традиционное измерение спектра мощности, а удобная форма представления клипированной ЭЭГ для детального анализа позволяет при необходимости легко определять разброс средней частоты любых ритмов.

Для исследования уровня однородности ЭЭГ в различные периоды бодрствования и сна в разном возрасте мы специальное внимание уделили анализу динамики пространственно-временных отношений ЭЭГ по параметру VOL, который позволяет количественно оценивать степень общей взаимосвязанности одновременно регистрируемых ЭЭГ-процессов с помощью одного численного показателя. На рис. 2 представлены индивидуальные данные о возрастных особенностях структуры

биопотенциального поля мозга при различных стадиях сна в первые два цикла. Степень взаимодействия колебаний биопотенциалов коры, оцениваемая по параметру VOL, различается в определенных стадиях сна и существенно изменяется с возрастом, отражая увеличение степени статистической близости колебаний биопотенциалов мозга, что особенно проявляется в III и IV стадиях сна. Так, максимальные значения показателя VOL, усредненные для каждого состояния, отмечаются у детей 8 и 9 лет в начале засыпания (стадии A и B [18]). У этих детей максимальная упорядоченность биопотенциалов мозга (т.е. минимальные значения показателя VOL) достигается в медленноволновых стадиях сна (рис. 2), при этом величина VOL близка к этому показателю у взрослых. У всех троих взрослых испытуемых, динамика VOL которых представлена на графике (рис. 2), также наблюдаются сравнительно небольшие изменения показателей упорядоченности биопотенциалов мозга в различных стадиях сна, однако размах таких колебаний существенно ниже, чем у детей, и даже на высоких уровнях бодрствования показатели VOL значительно меньше, чем у детей. Это указывает на большую стабильность в организации простран-

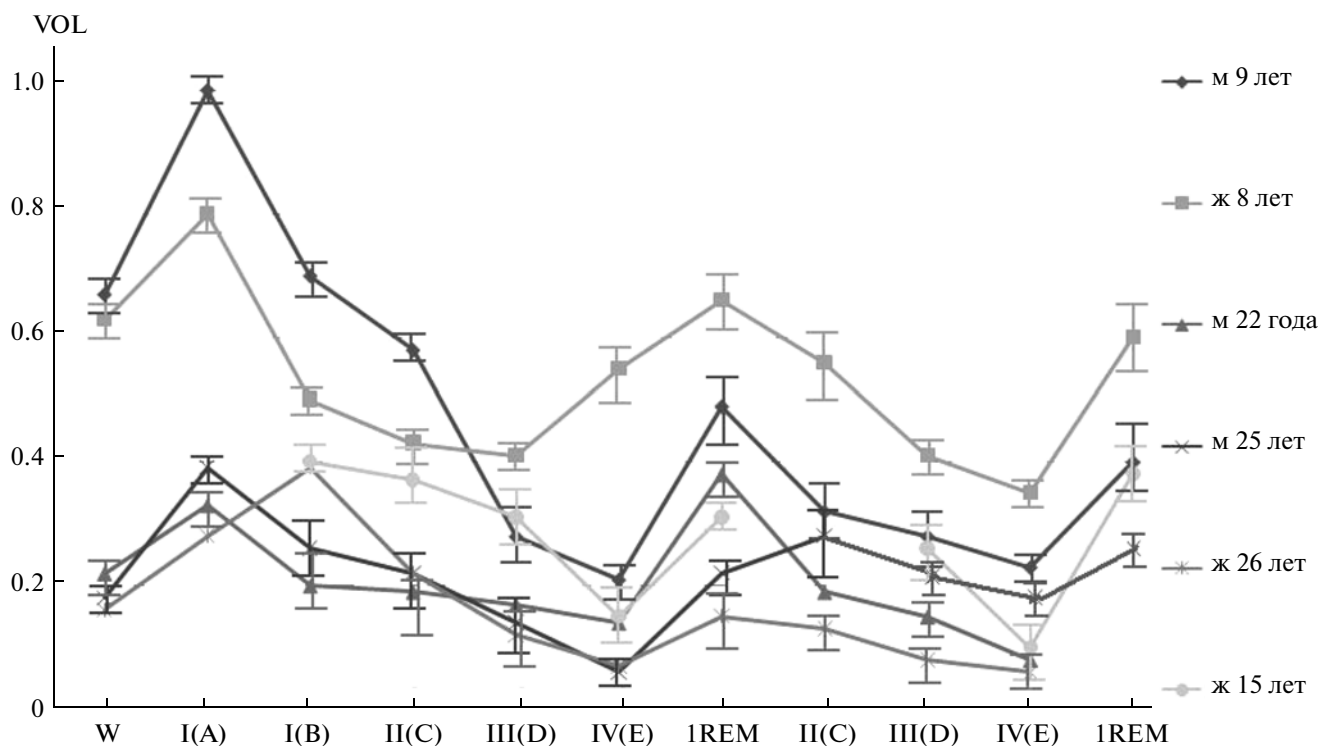


Рис. 2. Изменение среднего показателя VOL, характеризующего степень общей согласованности электрических процессов биопотенциального поля мозга, в двух первых циклах сна у испытуемых разного возраста. По оси ординат – показатель VOL, по оси абсцисс – стадии цикла бодрствование – сон по [18, 20]. Обозначения кривых характеризуют пол и возраст испытуемых.

Fig. 2. Change of average index VOL characterizing degree of electric processes general coordination of a brain biopotential field, during the two first cycle sleep cycles in subjects of different age. On an axis of ordinates – indicator VOL, on an axis of abscisses – stage of a cycle wakefulness – sleep [18, 20]. In legend the age and sex of subjects are indicated.

ственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга у взрослых.

У подростка 15 лет степень пространственной упорядоченности во всех исследованных стадиях сна практически не отличается от таковой у взрослых, хотя при бодрствовании различия в этом возрасте проявляются довольно ярко [5]. Это может быть связано с тем, что “созревание” ЭЭГ сна опережает “созревание” ЭЭГ бодрствования, причем признаки незрелости ЭЭГ, регистрируемой при более высоких уровнях бодрствования, сохраняются существенно дольше, чем до 14–16-летнего возраста. Обращает на себя внимание также заметное увеличение уровня VOL во всех возрастных группах испытуемых во время 1REM-стадии сна, как первого, так и второго цикла.

Приведенные на рис. 2 данные построены с использованием усреднения показателей

VOL внутри каждой стадии сна у отдельных испытуемых. Для более детального анализа тонкой структуры изменения показателей упорядоченности биопотенциалов мозга на протяжении каждой стадии мы применили кластерный анализ по методу K-средних (Statistica 6), используя деление на семь кластеров. Каждая точка на графике (рис. 3), построенном по результатам индивидуальной регистрации ночного сна, соответствует одной эпохе анализа ЭЭГ. Сопоставляя циклограмму сна (рис. 3, внизу) с разделением эпох анализа по кластерам (от 1 до 7, рис. 3, вверху), мы обнаружили, что состояние бодрствования с закрытыми глазами и начальная стадия засыпания (А по [18]) по показателям пространственно-временной организации почти не различаются. Оба эти состояния неоднородны и неустойчивы, они представлены чередующимися кластерами, в основном 1 и 5

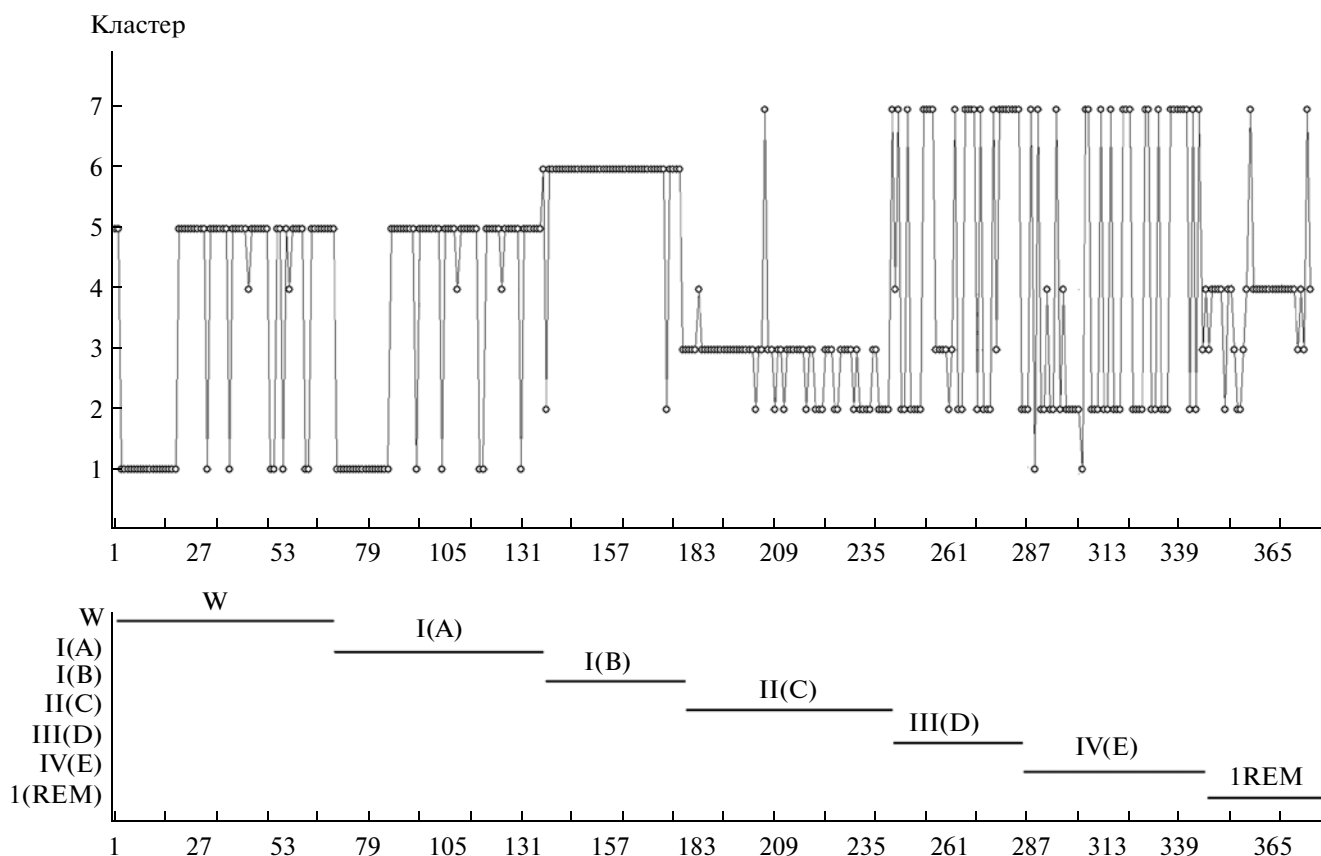


Рис. 3. Макро- и микроструктура цикла бодрствование – сон у взрослой испытуемой Ч. на протяжении первого цикла сна. Вверху – динамика чередования кластеров, построенных при анализе последовательных стандартных эпох анализа ЭЭГ в условиях непрерывной регистрации. Внизу – схематическое отображение длительности стадий сна I цикла бодрствование–сон по [18, 20]. По оси ординат – номера кластеров, по оси абсцисс – последовательные эпохи анализа ЭЭГ. Объяснение в тексте.

Fig. 3. Macro- and a microstructure of a cycle wakefulness – sleep in adult subject C. throughout the first sleep cycle. Above – dynamics of clusters alternation, the consecutive standard epoch of EEG analysis constructed at the analysis in the conditions of continuous registration. Below – schematic display of sleep stages duration during I cycle wakefulness-sleep. On an axis of ordinates – clusters number, on an axis of abscisses – EEG analysis epochs. Other explanations are in the text.

(необходимо учитывать, что разбиение на кластеры производилось по степени их сходства, а не градуально).

Период засыпания (стадия В по [18]) характеризуется особым, устойчиво поддерживаемым состоянием организации пространственно-временных отношений и представлен отдельным кластером 6. Эпохи анализа ЭЭГ, принадлежащие данному кластеру, существуют практически только в этой стадии сна и в самом начале II стадии (по [20] или С по [18]). Стадия С (II), так же как и стадия А(I), оказалась неоднородной: в начале присутствуют эпохи анализа ЭЭГ, относящиеся к кластерам, характерным для стадии В, затем специфические кластеры для стадии С (кластер 3), а

примерно с середины стадии С начинают проявляться кластеры 2, наиболее часто наблюдающиеся в медленноволновых стадиях (III–IV). Эти стадии медленного сна представлены главным образом эпохами, относящимися к двум кластерам 2 и 7, а также, в меньшей степени, кластерами 1, 3, 4. Парадоксальный сон (1REM) состоит в основном из доминирующего кластера 4 с вкраплением лишь отдельных эпох, относящихся к кластерам 2, 3 и 7. Данные, представленные в качестве примера на рис. 3, существенно варьируют у разных испытуемых, однако описанные выше закономерности сохраняются, т.е. в большинстве стадий доминирует два кластера, но на протяжении каждой стадии “вкли-

ниваются” кластеры, типичные для предшествующей или последующей стадии сна. Особое положение занимает стадия В, которая играет исключительную роль в реорганизации системной деятельности мозга в цикле бодрствование – сон и связана с обеспечением интенсивного процесса перехода от бодрствования ко сну, сопровождающегося выключением сознания.

Таким образом, создается впечатление, что в пределах одноименной ЭЭГ-стадии сна существуют определенные различия по степени согласованности системного взаимодействия колебаний биоэлектрических процессов, регистрируемых в различных зонах коры. При этом для некоторых стадий (точнее, для стадий В и 1REM) характерно более однородное состояние, выражающееся в доминировании специфического кластера, тогда как в начале засыпания и при медленноволновом сне имеет место бóльшая степень неустойчивости системного взаимодействия корковых полей.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Новые важные сведения о механизмах регуляции бодрствования и сна, полученные нейрофизиологами в последнее десятилетие [4, 13, 21], обеспечивают значительно более глубокое и разностороннее представление о природе сна и открывают путь к поиску еще не выявленных закономерностей в системной организации деятельности мозга при различной глубине сна и ответу на вопрос о функциональном предназначении отдельных его стадий. Известные факты о неоднородности одноименных стадий сна и многочисленные данные о фазических изменениях ЭЭГ, нередко сопровождающихся вегетативными и моторными феноменами, обретают новое значение в связи с их возможной взаимозависимостью с процессами, которые происходят в результате конкурентных отношений между различными центрами ростральных отделов ствола, диэнцефальными структурами и корой на разных этапах цикла бодрствование – сон и при смене отдельных стадий сна.

Поэтому попытки детального анализа САР и других кратковременных изменений ЭЭГ, не прерывающихся, тем не менее, текущую стадию сна, а также более дифференцированная оценка структуры ЭЭГ и пространственной организации межрегиональных отношений колебаний биопотенциалов коры могут су-

щественно способствовать более полному представлению о механизмах корково-подкорковых взаимодействий в различные периоды цикла сон – бодрствование в норме и при патологии. Можно согласиться с мнением Л. Паррино [19], что САР и другие активационные комплексы на ЭЭГ отражают деятельность нейрофизиологических механизмов “защиты сна” путем усиления “функции запирающих ворот”, образованных таламусом и базальными отделами переднего мозга.

Полученные данные о максимальном сходстве по величине параметра VOL между детьми и взрослыми в периоды дельта-сна, в то время как наибольшие отличия отмечались при бодрствовании, в период засыпания, а также во время 1REM-сна (рис. 2), согласуются с ранними данными [10] о более быстром созревании у детей нейрофизиологических механизмов, ответственных за организацию системной деятельности мозга в период глубокого сна по сравнению с состоянием бодрствования. Примечательно, что у подростка степень пространственной соорганизованности во всех исследованных стадиях сна практически не отличается от таковой у взрослых, тогда как при бодрствовании различия в этом возрасте четко проявляются [5].

Остается много неясного в отношении возможного усиления во сне управляющей роли головного мозга по отношению к регуляции деятельности внутренних органов [6] и весьма вероятного компенсирующего значения парасомний в облегчении переключения фаз сна в случае недостаточной степени зрелости определенных церебральных структур у детей или повреждения нейрофизиологических механизмов, ответственных за эту важную функцию [9].

Тот факт, что по полученным нами данным при оценке степени согласованности ЭЭГ-процессов в определенные периоды сна удалось выделить сразу несколько кластеров, характеризующих различные уровни общей пространственной соорганизованности биоэлектрических процессов мозга в этих состояниях, может указывать на гибкость в организации межрегиональных отношений, которая способствует более успешной реализации функциональных задач каждого из периодов сна. Очевидно, будет допустимым высказать предположение, что наличие в определенной стадии сна кластеров, свойственных ранее уже закончившейся стадии, может отражать

процессы “завершения недоделанного”, тогда как появление кластеров, характерных для последующей стадии сна, скорее всего связано с деятельностью нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих подготовку к переключению в следующую стадию сна. Следовательно, использование такого способа анализа динамики пространственной организации ЭЭГ может способствовать более четкому выделению переходных стадий сна.

Характерное для засыпания появление “микроциклов” в структуре ЭЭГ (рис. 1), очевидно, связано с активизацией процессов системной реорганизации работы мозга, необходимой для наступления сна. В ранее выполненной в нашей лаборатории работе, где были представлены сведения о локальном вкладе каждой из исследованных областей коры в организацию общей структуры поля биопотенциалов мозга [12], было отмечено, что максимальные изменения во всех зонах коры наблюдаются в стадии В, т.е. при засыпании. Возможно, этот феномен отражает такое функциональное состояние мозга, когда кора утрачивает свои лидирующие позиции, сознание выключается, а координация системной деятельности мозга переходит к подкорковым структурам? В таком случае становится более понятным особое место стадии В, выявляемое с помощью кластерного анализа (рис. 3), которое характеризуется необычайно высокой стабильностью одного кластера. Этот кластер практически не представлен в других стадиях, кроме переходного периода к стадии С. Важно также отметить, что данный кластер № 6 представлен эпохами анализа ЭЭГ, средний показатель VOL которых соответствует 0.07 – минимальному уровню за весь период исследования. Напоминаем, что такие низкие значения VOL отражают высокую степень пространственной организованности всех регистрируемых ЭЭГ-процессов. Возможно, принимая во внимание данные [4, 15, 21], именно в этот период, соответствующий интенсивному переходу в состояние сна, наряду с ослаблением активности «центров бодрствования» и с усилением активности тормозных нейронов, которые расположены преимущественно в вентролатеральной и срединной части преоптической области переднего гипоталамуса, происходит дополнительное включение тормозных ГАМКергических нейронов 1-го и 2-го слоев коры [15], что приводит к генерализо-

ванной содружественной перестройке всего биопотенциального поля мозга. Эта тотальная перестройка оказывается доминирующим фактором, который обеспечивает высокий уровень согласованности процессов, несмотря на полиморфную ЭЭГ-картину, характерную для этого периода цикла бодрствование – сон.

При обсуждении особой функциональной роли периода засыпания (особенно стадии В) специального внимания заслуживает видимое противоречие между показанной на рис. 3 стабильностью сохранения одного кластера (№ 6) и многократно показанной (в том числе и в наших исследованиях [12]) неустойчивостью регистрируемых в этот начальный период сна паттернов ЭЭГ, что скорее указывает на разнообразие и интенсификацию деятельности процессов, обеспечивающих “выключение” сознания. Допустимо высказать предположение, что на фоне интенсификации многих процессов, обеспечивающих засыпание, посредством кластерного анализа на основе параметра VOL удастся вычлнить такие характеристики в последовательных эпохах ЭЭГ, которые отражают ключевые признаки в системе реорганизации деятельности мозга в этот особенно ответственный период перехода ко сну.

Примечательно, что кластер 1 (рис. 3), представленный почти исключительно при спокойном бодрствовании и в самом начале дремотного состояния, включает в себя эпохи ЭЭГ с относительно высоким средним уровнем показателя VOL, равным 0.18, что свидетельствует о дифференцированной работе корковых полей, которые продолжают обеспечивать достаточно высокий уровень активности, свойственный состоянию мозга, когда сознание еще не “выключено” [2].

Сходные процессы наблюдались нами и при анализе пространственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга при переходе в легкий гипнотический сон, но в этом случае изменения были преимущественно локальными, связанными с процессами в передних отделах правого полушария [12].

В связи с этим допустим поиск аналогии с недавно описанным феноменом возникновения волнообразного изменения мощности альфа- и бета-ритмов во время сеанса “животного гипноза” у кроликов [7]. Авторы рассматривают этот процесс как следствие усиления внутреннего торможения. Примечательно, что, судя по графику 1, приведенному

в этой статье, период волнообразных колебаний усредненных параметров ЭЭГ близок к 60 с, т.е. напоминает “микроциклы”, представленные на рис. 1.

Относительно функционального предназначения некоторых фазических феноменов, таких как квазипериодическое “вкрапление активационных фрагментов ЭЭГ” в разные стадии сна, можно согласиться с мнением, что эти периоды кратковременной реорганизации деятельности мозга обеспечивают его способность к экстремному пробуждению при существенном изменении внешней или внутренней среды [3], а вариативность компонентов К-комплекса при более или менее глубоком сне, возможно, отражает фазное взаимодействие колебаний уровня активности разных элементов нейрофизиологических систем, ответственных за сон или бодрствование [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание устойчивость макроциклической организации сна у человека и животных и стремление организма целенаправленно компенсировать дельта-сон или парадоксальный сон при их избирательной искусственной депривации, можно полагать, что каждая стадия сна имеет особое функциональное предназначение. Некоторые данные о специфических нейрхимических и нейрофизиологических особенностях отдельных периодов сна дают основание для правомерности такого суждения и оправдывают попытки поиска ЭЭГ-коррелятов, которые могут отражать процессы, происходящие и в глубоких структурах мозга на различных этапах цикла бодрствование – сон, при переключении стадий сна и в переходных состояниях. Функциональное значение *sucling alternating pattern* (SAP) и других микроструктурных изменений в пределах отдельных стадий сна остается пока недостаточно ясным. Однако, по-видимому, эти ЭЭГ-феномены отражают динамику нейрофизиологических процессов, которые играют существенную роль в обеспечении лабильности в организации системной деятельности мозга во время сна, защиты сна от малозначащих раздражителей (наряду с повышением готовности мозга к экстремному пробуждению при необходимости), а также эти кратковременные процессы, возможно, имеют значение для

облегчения переключения отдельных стадий сна и в подготовке организма к активной деятельности в состоянии бодрствования.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант № 10-06-01000а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок А.И., Рожков В.П. Особенности межцентральной координации корковых электрических процессов при умственной деятельности. Физиология человека. 1992. 18 (3): 5–16.
2. Дементийенко В.В., Дорохов В.Б., Герус С.В., Корнева Л.Г., Марков А.Г., Шахнарович В.М. Биоматематическая модель процесса засыпания человека-оператора. Физиология человека. 2008. 34(5): 63–72.
3. Дорохов В.Б. Альфа-веретена и К-комплекс – фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушенной психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты. Журн. высш. нерв. деят. 2003. 53 (4): 502–511.
4. Ковальзон В.М. Основы сомнологии. М.: Бином, 2011. 239 с.
5. Кручинина О.В., Гальперина Е.И., Рожков В.П. Возрастные особенности фоновой биоэлектрической активности. Нейронаука для медицины и психологии: 7-й Международный междисциплинарный конгресс. Судак. Крым, Украина, 3–13 июня 2011 г. Тр. под ред. Лосевой Е.В., Логиновой Н.А. М.: МАКС Пресс, 2011: 242–243.
6. Пигарев И.Н., Пигарева М.Л. Сон и контроль висцеральных функций. Рос. физиол. журн. 2011. 97(4): 374–387.
7. Русинова Е.В., Давыдов В.И. Динамика изменений электрической активности коры мозга кролика в процессе последовательных сеансов “животного гипноза”. Журн. высш. нерв. деят. 2009. 59(2): 171–179.
8. Цицерошин М.Н., Шеповальников А.Н. Становление интегративной функции мозга. Под ред. Бехтеревой Н.П. СПб.: Наука, 2009. 249 с.
9. Шеповальников А.Н., Гольбин А.Ц. О возможной роли парасомний как фактора стабилизации циклов сна. Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2009. 45(6): 567–574.
10. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н., Анапасионок В.С. Формирование биопотенциального поля мозга человека. Л.:Наука, 1979. 163 с.
11. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н. Пространственная упорядоченность функциональной организации целого мозга. Физиология человека. 1987. 13(6): 1007–1022.
12. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н., Рожков В.П., Гальперина Е.И., Зайцева Л.Г., Шеповальников Р.А. Особенности межрегионального взаимодействия корковых полей при разных стадиях

- естественного и гипнотического сна (по данным ЭЭГ). Физиология человека. 2005. 31(2): 45–59.
13. Шпорк П. Сон. Почему мы спим и как нам это лучше всего удается. М.: Бином, 2010. 234 с.
 14. Bruni O., Novelli L., Miano S., Parrino L., Terzano M.G., Ferri R. Cyclic alternating pattern: A window into pediatric sleep. *Sleep Med.* 2010. 11(7): 628–636.
 15. Datta S., MacLean R.R. Neurobiological mechanisms for the regulation of mammalian sleep-wake behavior: Reinterpretation of historical evidence and inclusion of contemporary cellular and molecular evidence. *Neurosci. Behav. Rev.* 2007. 31: 775–824.
 16. Ferri R., Bruni O., Miano S., Plazzi G., Terzano M.G.. All-night EEG power spectral analysis of the cyclic alternating pattern components in young adult subjects. *Clin. Neurophysiol.* 2005. 116: 2429–2440.
 17. Halasz P. Hierarchy of micro-arousals and the microstructure of sleep. *Neurophysiol. Clin.* 1998. 28(6): 461–475.
 18. Loomis A.L., Harvey E.N., Hobart G.A. Cerebral stages during sleep, as studied by human brain potentials. *J. Exp. Psychol.* 1937. 21(2): 127–144.
 19. Parrino L., Ferri R., Bruni O., Terzano M. Cyclic alternative pattern (CAP): The marker of sleep instability. *Sleep Med. Rev.* 2012. 16: 27–45.
 20. Rechtschaffen A., Kales A. A Manual of Standardized Terminology Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Washington: Publ. Health Serv., US Government Print. Office. 1968.
 21. Saper C.B., Fuller P.M., Pedersen N.P., Lu J., Scammell T.E. Sleep state switching. *Neuron.* 2010. 68: 1023–1042.
 22. Terzano M., Parrino L. Origin and significance of the cyclic alternative pattern (CAP). *Sleep Med. Rev.* 2000. 4: 101–123.