

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт психологии

ЭВОЛЮЦИОННАЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ В РОССИИ: ТРАДИЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Под редакцией
А. Н. Харитонов



Издательство
«Институт психологии РАН»
Москва – 2013

УДК 159.929

ББК 88

Э 15

Все права защищены.

*Любое использование материалов данной книги полностью
или частично без разрешения правообладателя запрещается*

Редакционная коллегия:

*Ю. И. Александров, К. И. Ананьева, В. А. Барабанщиков, Н. А. Выскочил,
В. В. Гаврилов, А. А. Демидов, О. А. Королькова, В. И. Панов,
А. А. Созинов (отв. секретарь), А. Н. Харитонов (отв. ред.), И. А. Хватов*

Э 15 Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы / Под ред. А. Н. Харитонova. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2013. – 432 с. (Труды Института психологии РАН)

ISBN 978-5-9270-0274-0

УДК 159.929

ББК 88

Коллективный труд, подготовленный ведущими отечественными специалистами, представляет собой современный срез эволюционной и сравнительной психологии в России. Рассматриваются вопросы истории и теории эволюционных и сравнительно-психологических исследований, а также использования психологических методов в исследованиях поведения. Проблематика межвидового взаимодействия представлена на материале взаимодействия человека и синантропных видов. В книге отражен широкий спектр эмпирических исследований и материалы, представляющие попытку экспериментально-психологического решения ряда конкретных проблем фило- и онтогенетического плана. Монография ориентирована на психологов-эволюционистов, зоопсихологов и этологов, а также на широкий круг специалистов разного профиля, интересующихся эволюционной и сравнительно-психологической проблематикой.



*Подготовка и публикация коллективного труда осуществлена
при финансовой поддержке Российского гуманитарного
научного фонда (РГНФ), проект № 13-06-14050г.*

© ФГБУН Институт психологии РАН, 2013

ISBN 978-5-9270-0274-0

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ*

Т. Н. Греченко, А. В. Жегалло, А. Н. Харитонов

Генез электроэнцефалограммы (ЭЭГ) остается одним из актуальных вопросов электрофизиологии. Исследования показывают, что наиболее существенный вклад в генерацию основных ритмов ЭЭГ вносят структуры, нервные клетки которых имеют выраженную осцилляторную активность. Новые исследования, выполненные при помощи регистрации ЭЭГ, позитронно-эмиссионной томографии, магниторезонансной томографии, позволяют предположить, что ведущую роль в генезе основных ритмов мозга играют нейроны-генераторы, а ЭЭГ отражает синхронизированную электрическую активность большой популяции нейронов. В качестве одного из возможных источников возникновения электрических ритмов мозга рассматривается пейсмекерная активность клеток (Данилова, 2006; Başar, 2008). Установлено, что ретикулярная формация, мозжечок, гиппокамп, супрахиазмное ядро, оливы содержат нервные клетки, ритмические разряды которых задаются особым внутриклеточным механизмом (эндогенной основой ритмичности). Именно этот вид активности нейронов имеет в своей основе внутренние процессы, которые запускаются экспрессией определенных генов (Соколов, 1975; Leznik, Llinás, 2005). Следовательно, для возникновения ритмической активности мозга необходимы генераторы, имеющие пейсмекерный механизм, а для синхронизации осцилляций необходимы синаптические контакты. Для проверки этого положения мы выполнили опыты на одноклеточных эукариотах и прокариотах, что исключает участие синапсов и большого количества осциллирующих клеток.

* Исследование выполнено при поддержке РГНФ, проекты №№ 11-06-00917а, 13-06-00624 и 12-06-00952а, и РФФИ, проект №13-06-00634.

Метод

Опыты выполнены на инфузориях *Paramecia caudatum*, цианобактериях *Oscillatoria terebriformis*, дрожжах *Saccharomyces cerevisiae*. Применялся метод регистрации электрической активности при помощи стеклянных микроэлектродов (МЭ). Для работы с цианобактериями *Oscillatoria terebriformis* применяли физраствор следующего состава: (в граммах на литр): NaHCO_3 – 3, Na_2CO_3 – 17, K_2HPO_4 – 0,5, NaCl – 30, KNO_3 – 2,5, MgSO_4 – 0,2, CaCl_2 – 0,04, FeSO_4 – 0,01. Электроды заполняли 1 М раствором KCl. В опытах на дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* использовалась культура «диких» дрожжей, помещенных в водную среду температурой 22–25°C. Регистрация электрической активности производилась МЭ, заполненными 1 М KCl. Электрическая активность свободно плавающих микроорганизмов регистрировалась в камере объемом 0,35 мл, содержащей специальный физиологический раствор (KCl – 4 мМ, CaCl – 1 мМ, MgCl_2 – 5 мМ, tris HCl – 1 мМ; pH раствора – 7,2). Для регистрации применяли стеклянные микроэлектроды, заполненные 0,1 М KCl. Длительность регистрации электрической активности микроорганизмов от 20 с до 5 мин. Электрическая активность инфузорий *Paramecia caudatum*, цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* подвергалась спектрально-частотному анализу по Фурье, а для анализа распределений частот во времени использовался вейвлет-анализ.

Результаты

Пейсмекеры прокариот. Цианобактерия *Oscillatoria terebriformis* – представитель одноклеточных фотосинтезирующих прокариот, эволюционный возраст которых 3,5 млрд лет. Она может аккли-

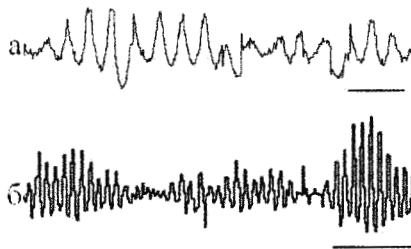


Рис. 1. Электрическая активность цианобактериальной пленки, зарегистрированная через 3 мин (а) и через 7 мин после введения микроэлектрода. Калибровка: 1,2 с (а), 450 мс (б)

матизироваться к широкому ряду изменений окружающей среды, демонстрируя удивительную адаптивность поведения. Изучение поведения цианобактерий показало, что они достигают высокого уровня приспособляемости благодаря «социальным» отношениям в их сообществах, а электрофизиологические опыты позволили обнаружить сложные информационные процессы, функциональное значение которых, скорее всего, заключается в установлении взаимодействия между членами сообщества. Регистрация электрической активности внутриклеточным микроэлектродом от одиночной цианобактерии показала генерацию высокоамплитудных осцилляций мембранного потенциала (около 30–35 мВ). Осцилляции возникают примерно один раз за 2,5–3 с. В течение всего времени наблюдения эта скорость развития не изменялась и оставалась постоянной. Для регистрации суммарной электрической активности микроэлектрод вводили в толщу цианобактериальной пленки. Это позволило регистрировать осцилляции частотой от 0,1 до 30 Гц (рисунок 1а; Греченко и др., 2012).

Дрожжи. Пекарские дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* – одноклеточные эукариоты, грибы. Размеры дрожжевых клеток обычно составляют 3–7 мкм в диаметре. У дрожжей можно выделить высокочастотный компонент до 28 Гц и низкочастотные компоненты около 0,1 Гц (существуют ритмические компоненты с частотой 1/час). В ряде случаев генерация высокочастотных колебаний развивается упорядоченно, группы следуют с частотой 0,8–0,9 Гц. Осцилляции, зарегистрированные внутриклеточным микроэлектродом от индивидуальной дрожжевой клетки, чрезвычайно разнообразны как по амплитуде, так и по форме и временной организации. Паттерны активности повторяются с определенной частотой – у каждого вида активности своя периодичность. На электрические процессы дрожжевых клеток влияют такие факторы внешней среды как температура, состав жидкостной среды в экспериментальной камере и длительность нахождения в растворе определенного состава. Показано, что величина заряда клетки меняется в зависимости от цикла активности, осуществляемого колонией дрожжей как единым организмом.

Пейсмейкеры парамеций (*Paramecium* sp.). Микроэлектродные регистрации, предпринятые для исследования электрических процессов, происходящих в единственной клетке этих живых существ, позволили обнаружить взаимодействие нескольких эндогенных осцилляторов. Функция каждого из осцилляторов, по-видимому, связана с определенным поведенческим проявлением, которое создается действием группы ресничек парамеции. Частота зарегистрированных электрических колебаний от 0,1/с до 50/с – 55/с, ампли-

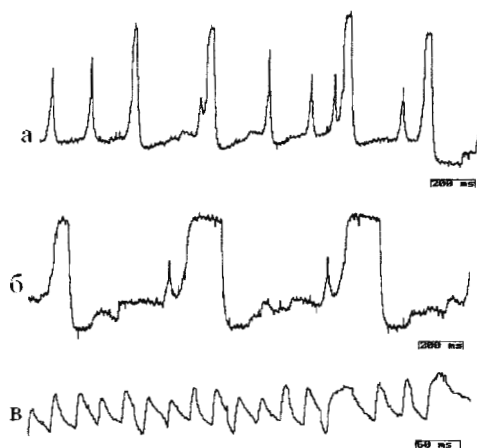


Рис. 2. Электрическая активность, зарегистрированная внутриклеточным электродом от парамеции, через 1 мин (а), 3 мин (б) и 7 мин (в) после введения. Калибровка: 200 мс (а, б), 50 мс (в)

туда от 2–3 мВ до 30 мВ. Частота и скорость развития этих процессов весьма разнообразна. Как правило, в активности парамеции представлено несколько видов электрических процессов, существующих фактически одновременно (рисунок 2). Эти процессы существуют независимо один от другого. Чтобы узнать, каким может быть электрофизиологический результат взаимодействия осцилляторов, в опытах через второй микроэлектрод применили электрические внутриклеточные импульсы деполяризационного тока. Сила тока – от 0,05 нА до 1,5 нА, длительность импульсов – от 3 до 5 с. Действие деполяризационного тока синхронизировало работу эндогенных осцилляторов и приводило к генерации потенциалов действия (ПД) разной амплитуды.

Фрагменты записи электрической активности парамеций *Paramecia caudatum*, цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* продолжительностью 21 с подвергались спектральному анализу в среде статистической обработки R 3.0 (R Development Core Team, 2011). Спектральный анализ выполнялся для исходной записи путем построения периодограммы с использованием быстрого преобразования Фурье (Shumway, Stoffer, 2011). На графиках по оси абсцисс – частота, по оси ординат – спектральная плотность (spectral density; рис. 3).

Для парамеции пики частот локализованы в области 6–8 Гц, 26–30 Гц, 40–42 Гц, для цианобактерий – в области 5–6 Гц, 26–30 Гц, а для дрожжей – 6–8 Гц, 16–18 Гц, 28–30 Гц.

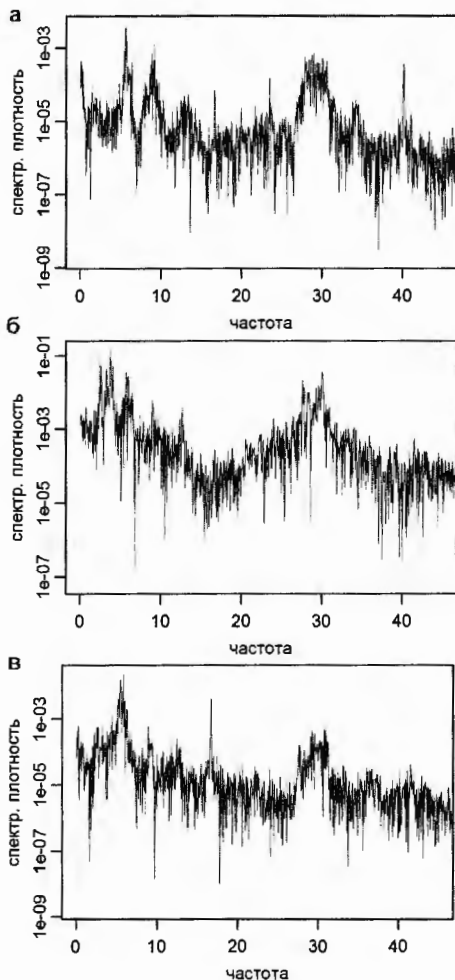


Рис. 3. Результаты спектрального анализа электрической активности парамеции (а), цианобактерий (б) и дрожжей (в)

Обсуждение

Результаты опытов на одноклеточных эукариотах и многоклеточных прокариотах показывают, что осцилляторы существуют у самых древних форм жизни, для синхронизированных электрических осцилляций наличие синапсов не является необходимым, «древние» ритмы по частоте тождественны современным, обнаруженным у таких сложных биологических систем, как мозг человека. Фактически,

были получены данные, демонстрирующие наличие «альфа-ритма» и «бета-ритма» у наших микробов.

Эксперименты, выполненные на живых существах разного таксономического положения и эволюционного возраста, подтверждают предположение о том, что сформировался класс клеток, имеющих пейсмекерный механизм, позволяющий им регулировать функциональные состояния, быть генераторами ритмов мозга, участвовать в явлениях памяти, управлять движениями (Соколов, 1975). В наших опытах показано, что выраженность частот ритмической активности связана с разнообразием осцилляторов у данных микроорганизмов – внутриклеточная регистрация электрической активности у парameций, дрожжей и цианобактерий показала различия в представленности осцилляторных процессов у этих живых существ, что нашло свое отражение в результатах Фурье-анализа (рисунок 3). Усложнение структуры и организации нервной системы и ее предшественника усилило роль пейсмекеров в жизни организмов.

Ритмичность разрядов нейронов некоторых мозговых структур (таламуса, гипоталамуса и т. д.) многие исследователи связывают с поступлением к клеткам периодических синаптических потенциалов – в этом заключается идея о сетевой основе осцилляций. В проведенных нами опытах поступление синаптических сигналов полностью исключено как на одноклеточных эукариотах, так и (по причине отсутствия синапсов) у многоклеточных прокариот. Это позволяет предположить наличие другого синхронизирующего источника.

Накопленные к настоящему времени данные показывают, что многие биоритмы синхронизируются гелиогеофизическими колебательными процессами (Бреус и др., 1995). В частности, обнаружено сходство преобладающих частот ЭЭГ мозга человека и низкочастотных пульсаций геомагнитного поля. Согласно теоретическим и экспериментальным данным, в системе Земля – ионосфера присутствуют резонансные частоты, равные 6–8, 14, 20, 26 и 32 Гц. Шумановские волны с основной частотой 7,8 Гц, имеющие 24-часовую гармонику, влияют на циркадианный ритм организма. В эти частоты входят и основные ритмы электроэнцефалограммы, в том числе альфа-ритм. Полученные результаты показывают взаимосвязь альфа-ритмов и шумановских частот. Альфа-ритм и другие ритмы отражают сложные психофизиологические процессы, происходящие в мозге. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют в пользу того, что характер альфа-ритма является врожденным и, вероятно, наследственным (Gallinat et al., 2004). Корни этого и других основных ритмов мозга – в глубинах зарождения жизни. Эндогенная ритмика, сформировавшаяся под влиянием циклических

процессов окружающей среды, надежно и адекватно «вписывает» сложные системы в быстро меняющуюся обстановку. В экспериментах накоплен обширный экспериментальный материал, демонстрирующий многогранность проявления пейсмекера в самых разных функциях живого существа и на различных этапах его жизни – от рождения до смерти. Анализ частотного состава зарегистрированной электрической активности показал, что наиболее известные ритмы, идентифицированные в ЭЭГ человека, уже представлены на ранних этапах развития жизни.

Литература

- Бреус Т. К., Халберг Ф., Корнелиссен Ж. Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып. 4. С. 737–749.
- Греченко Т. Н., Сумина Е. Л., Сумин Д. Л., Харитонов А. Н. Синхронизация электрических процессов и организация поведения проکاریот // Материалы 5 Международной конференции по когнитивной науке. 2012. Т. 1. С. 327.
- Данилова Н. Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов психология // Журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 3. №2. С. 62–72.
- Соколов Е. Н. Пейсмекерный потенциал в организации ритмической активности нейрона // Пейсмекерный потенциал нейрона / Ред. Е. Н. Соколов, Н. Н. Тавхелидзе. Тбилиси: Мецниереба, 1975.
- Başar E. Oscillations in “brain–body–mind” – a holistic view including the autonomous system // Brain Research. 2008. V. 1235. P. 2–11.
- Gallinat J., Winterer G., Herrmann C. S., Senkowski D. Reduced oscillatory gamma-band responses in unmedicated schizophrenic patients indicate impaired frontal network processing // Clinical Neurophysiology. 2004. V. 115. P. 1863–1874.
- Leznik E., Llinás R. Role of gap junctions in synchronized neuronal oscillations in the inferior olive // Journal of Neurophysiology. 2005. V. 94. P. 2447.
- R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2011.
- Shumway R. H., Stoffer D. S. Time Series Analysis and Its Applications with R Examples. N. Y.: Springer, 2011.