

А. К. ПОПОВ, А. М. ВОЛКОВ, С. К. АРУТЮНОВ, Е. С. ЛОБУСОВ

О МЕХАНИЗМАХ СПОНТАННОЙ РИТМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
КОРЫ МОЗГА

(Представлено академиком В. В. Париным 27 I 1969)

Было показано, что потенциалы реакции вовлечения, регистрируемые с разной глубины первого слоя коры мозга, возникают как результат взаимодействий исследуемых нервных структур (1).

Полученный результат хорошо согласуется с известными качественными описаниями взаимодействий например, дендритов и вставочных нейронов, разыгрывающихся по принципу работы механизма с обратными связями (2, 3). Так, согласно Е. Н. Соколову (3), раздражение коры одновременно вызывает деполяризацию дендритов (Д) и возбуждение вставочных нейронов (Вн) по механизму их взаимной активации, что можно представить как тип взаимодействий  $Vn \rightleftharpoons D$ . По мере роста возбуждения вставочных нейронов, они начинают вместо активирующих

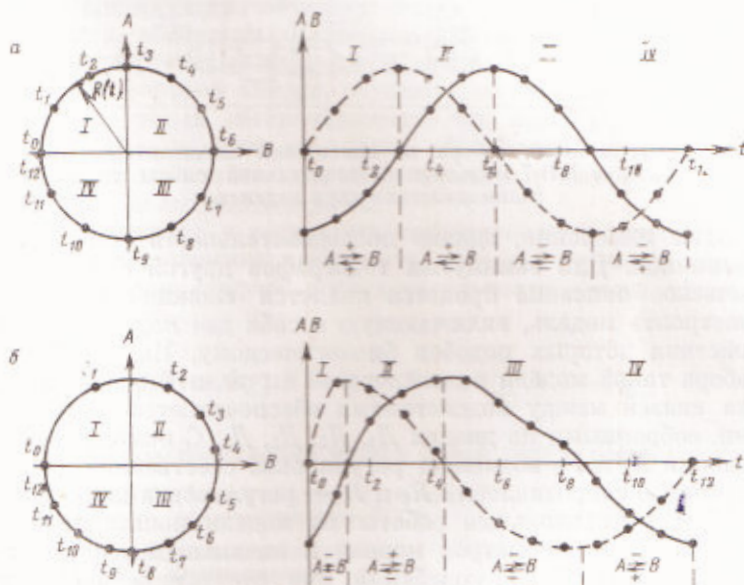


Рис. 1. Годограф в виде окружности, как простейший пример процесса последовательной смены типов взаимодействия двух подсистем А и В при равномерном (а) и неравномерном (б) движении точки по окружности

оказывать угнетающие влияния. При этом степень деполяризации дендритов, повышая возбудимость вставочных нейронов, ускоряет действие отрицательной обратной связи, ограничивая степень деполяризации дендритов последующей их гиперполяризацией:  $Vn \rightleftharpoons D$ . С развитием гиперполяризации дендритов их активирующее влияние сменяется тормозным действием по отношению к вставочным нейронам, что можно представить типом  $Vn \rightleftharpoons D$ . На основании полученных нами результатов (1) схему Е. Н. Соколова необходимо дополнить предположением, что вклю-

чение угнетающих влияний в адрес вставочных нейронов ограничивает их гиперполяризующее действие в отношении дендритов последующей деполяризацией по типу  $V_n \rightleftharpoons D$ . Такое дополнение подкрепляется данными Вильсона, Тильбота, А. И. Шаповалова (4), свидетельствующими о существовании возбуждательных нейронов — антагонистов тормозных вставочных нейронов и клеток на уровне коры. В результате получаем последовательность:

$$V_n \overset{+}{\rightleftharpoons} D \rightarrow V_n \overset{-}{\rightleftharpoons} D \rightarrow V_n \overset{-}{\rightleftharpoons} D \rightarrow V_n \overset{+}{\rightleftharpoons} D. \quad (1)$$

Существенно важно, что описанная выше последовательность смены типов автоматически обеспечивает каждой из подсистем возвращение в исходное состояние. Такая возможность становится очевидной при графическом изображении процесса (рис. 1а). Здесь в качестве годографа простейшего случая двух взаимодействующих подсистем А и В принята окружность с центром в начале координат. Легко видеть, что в случае неравномерного движения точки по окружности (рис. 1б) кривые поведения параметров взаимодействующих подсистем А и В претерпевают

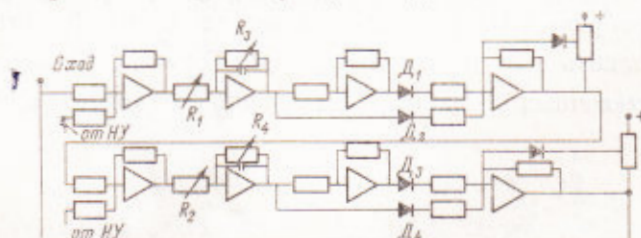


Рис. 2. Схема набора на аналоговой вычислительной машине МН-7 модели последовательной смены типов взаимодействия двух подсистем

существенные изменения, однако последовательность смены типов остается неизменной. Для замкнутых годографов другой формы адекватное математическое описание процесса является сложной задачей, однако можно построить модель, включающую в себя две подсистемы, механизм взаимодействия которых подобен биологическому. На рис. 2 приведена схема набора такой модели на аналоговой вычислительной машине МН-7. Динамика связей между подсистемами обеспечивается модульными устройствами, собранными на диодах  $D_1, D_2, D_3, D_4$ . С помощью переменных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  возможна регулировка собственной частоты модели, а с помощью сопротивлений  $R_3$  и  $R_4$  — регулировка демпфированности процесса. Экспериментальные работы на модели показали, что при некоторых значениях параметров модели и начальных условий возникает режим автоколебаний, т. е. колебаний при отсутствии внешних ритмических воздействий. Это обстоятельство позволяет думать, что спонтанная биоэлектрическая ритмика изолированной коры мозга (2) является результатом последовательной смены типов взаимодействий дендритов и вставочных нейронов, согласно цепочке (1), т. е. существует принципиальная возможность возникновения ритмики коры мозга за счет работы структурных связей составляющих ее элементов.

Получаемые на модели в случае режима автоколебаний кривые поведения взаимодействующих подсистем с высокой степенью точности могут воспроизводить функции синуса и косинуса (рис. 3), т. е.  $x = \sin \omega t$ , а  $y = \cos \omega t$ . Это позволяет связать взаимодействующие подсистемы X и Y уравнениями:

$$\begin{aligned} X &= Y', \\ Y &= -X'. \end{aligned} \quad (2)$$

Преобразуя уравнения (2), получим

$$\begin{aligned} X'' + X &= 0, \\ Y'' + Y &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

т. е. хорошо известные уравнения свободного колебательного процесса. Определяя при этом поведение всей системы в целом, т. е. по точкам  $A_0, A_1, \dots, A_n$ , взятым на половине ординат между кривыми  $\sin \omega t$  и  $\cos \omega t$ , что соответствует суммации электрических потенциалов двух взаимодействующих подсистем  $X$  и  $Y$ , получим уравнение  $A = C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t$ , (4) где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные интегрирования.

Уравнение (4) является решением уравнения свободного колебательного процесса, описываемого выражением (3). Следовательно, то, что в динамических системах обеспечивается взаимодействием двух видов энергии: потенциальной и кинетической в механической системе, энергии электрического и магнитного полей в электрической системе и т. д., в биологических объектах может возникать в результате взаимодействия двух подсистем. Взаимодействующими подсистемами могут быть не только вставочные нейроны и дендриты, но, вероятно, и отдельные части самой нервной клетки, осуществляющие взаимные связи через мембрану и тем самым обеспечивающие так называемую «аутогенную» ритмику. Последнее наводит на мысль об общем характере принципа взаимодействия двух подсистем как возможном механизме вообще спонтанной ритмической активности мозга.

Проведенный анализ и результаты моделирования позволяют считать, что спонтанная ритмическая активность нервных структур коры обеспечивается механизмом строгой последовательности смены типов взаимодействий в виде

$$A \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \\ + \end{matrix} B \rightarrow A \begin{matrix} \leftarrow \\ \rightarrow \\ + \end{matrix} B \leftrightarrow A \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \\ - \end{matrix} B \rightarrow A \begin{matrix} \leftarrow \\ \rightarrow \\ - \end{matrix} B \text{ и т. д.,}$$

где  $A$  и  $B$  — взаимодействующие между собой подсистемы.

Институт медико-биологических проблем  
Министерства здравоохранения СССР

Поступило  
21 I 1969

Московский авиационный институт  
им. С. Орджоникидзе

Московское высшее инженерно-техническое училище  
им. Н. Э. Баумана

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. К. Попов, А. М. Волков, ДАН, 184, № 5 (1969). <sup>2</sup> В. И. Гусельников, А. Я. Суин, Ритмическая активность головного мозга, М., 1968. <sup>3</sup> Е. Н. Соколов, В кн. Основные вопросы электрофизиологии центральной нервной системы, Киев, 1962. <sup>4</sup> А. И. Шаповалов, В кн. Современные проблемы электрофизиологических исследований нервной системы, М., 1964. <sup>5</sup> V. I. Wilson, W. H. Talbot, J. Neurophysiol., № 3, 451 (1964).



Рис. 3. Поведение двух взаимодействующих подсистем  $X$  и  $Y$  по закону синуса и косинуса при работе модели в режиме автоколебаний.  $1 - x = \sin \omega t$ ,  $2 - y = \cos \omega t$ ,  $3 - A = C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t$