

## АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОЗГА

В. А. Сауткина

Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С.П. Королева,  
sautkinavarvara@rambler.ru

Цель данной работы – исследование изменений во взаимодействии миндалины и префронтальной коры с целью возможности диагностирования шизофрении.

В данной работе исследуется нелинейная математическая модель, построенная на основе гипотезы лимбической дисрегуляции и отражающая взаимодействие миндалины, гиппокампа и префронтальной коры [1].

Модель построена в виде перекрестной динамической системы, в которой переменные  $a = a(t)$ ,  $p = p(t)$  являются уровнями активации миндалины и префронтальной коры соответственно. Эти переменные можно рассматривать как дискретные временные ряды. В модели прямые взаимодействия между этими областями (включая автомодуляцию в пределах каждой области) выражены линейными членами. Так как линейные системы не показывают необычного поведения, и, учитывая, что у мозга существуют более тонкие механизмы регуляции, предполагается также наличие нелинейности. Нелинейные члены в модели обусловлены влиянием гиппокампа. Таким образом, динамическая модель имеет вид (1).

$$\begin{cases} \dot{a} = -\mu_1 a - k_1 p + I - \gamma_1 (H - f(a)); \\ \dot{p} = k_2 a + \mu_2 p + \gamma_2 (H - f(a) - g(a, p)), \end{cases} \quad (1)$$

где  $I, H, \mu_1, \mu_2, k_1, k_2, \gamma_1, \gamma_2 > 0$ .

На активность миндалины  $a$  влияют следующие члены:  $I$  – соответствует второстепенным экологическим стимулам,  $-\mu_1 a$  – самоторможение,  $-k_1 p$  – префронтальная модуляция,  $-\gamma_1 (H - f(a))$  – гиппокампальная модуляция, причем  $H$  – нормальная активация гиппокампа, уменьшенная членом  $-f(a) < 0$ , который отражает отрицательное структурное воздействие повышенной активности миндалины на гиппокамп.

Активность префронтальной коры  $p$  зависит от входного возбуждения миндалины  $k_2 a$ , самовозбуждения  $\mu_2 p$ , от гиппокампального воздействия  $\gamma_2 (H - f(a))$ , описанного выше, и гиппокампально-префронтальной модуляции  $-\gamma_2 g(a, p)$ .

Были изучены условия, при которых в системе возникает бифуркация Андронова-Хопфа, и рассчитана ляпуновская величина [2].

Для системы (1) ляпуновская величина имеет вид:

$$\sigma = \frac{3\pi\mu_2\gamma\gamma_2^2}{2\Delta^3} \left( \frac{2\gamma_1}{\gamma_2} - \frac{\delta}{\gamma} \right) \left( \frac{k_1}{\mu_2} - \frac{\gamma_1}{\gamma_2} - \frac{\delta}{\gamma} \right). \quad (2)$$

Проведена интерпретация полученных результатов, и выявлены условия разделения состояний нормальности/болезни.

Два параметра, величина которых определяет поведение системы – это чувствительность миндалины, представленная  $\mu_1$ , и уязвимость к нейротоксичности кортизола, представленная ляпуновской величиной  $\sigma$ . Следуя гипотезе напряжения/уязвимости к шизофрении, наша интерпретация расценивает  $\sigma$  как параметр, определяющий болезнь: отрицательные значения  $\sigma$  соответствуют нормальному лимбическому регулированию, в то время как положительные значения определяют величину риска заболевания и серьезность болезни. С другой стороны, большие значения  $\mu_1$  соответствуют более эластичной активации миндалины, в то время как меньшие значения  $\mu_1$  показывают более жесткую активацию. Можно рассматривать этот параметр, как определение отклика миндалины, который связан с отклонениями, такими как депрессия и беспокойство, но не являющимися основными симптомами шизофрении.

Так как в настоящее время не существует клинически одобренного лабораторного теста на шизофрению, и диагностика строится на длительном наблюдении и на субъективных оценках врачей, математический подход к диагностике может быть полезен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Radulesku A.* Schizophrenia – a parameters' game? // *Journal of Theoretical Biology.* 2008. №254. P 89-98.
2. *Марсден Дж., Мак-Кракен М.* Бифуркация рождения цикла и ее приложения. М.: Мир, 1980. 368 с.