

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.8.52-50

А. С. Чобанян, Т. С. Мартиросян, О. А. Мкртчян

**Вычислительные эксперименты с моделью синаптического обучения**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л. Р. Манвеляном 18/VI 2010)

**Ключевые слова:** *синапс, обучение, компьютерная модель, вычислительные эксперименты*

Изучение клеточных механизмов обучения является актуальной задачей современной нейрофизиологии. В литературе представлен ряд гипотез относительно клеточных механизмов обучения [1-4].

Основополагающим методом исследования процессов обучения у человека и животных является павловское учение об условных рефлексах. Для образования условного рефлекса необходимо сочетание во времени некоторого индифферентного раздражителя (не способного самостоятельно вызывать существенные изменения в функционировании организма) с иным раздражением, вызывающим безусловный рефлекс (безусловный стимул, БС). При определенном временном соотношении предъявления вышеуказанных раздражителей вначале индифферентное раздражение (условный стимул, УС) способно самостоятельно вызывать соответствующие изменения в организме, обусловленные проявлением безусловного рефлекса.

На клеточном уровне вышеуказанное представляется долговременным увеличением синаптической эффективности при комбинированном раздражении постсинаптического нейрона по двум входам, соответствующим условному и безусловному сигналам. При многократном (5-6 раз и больше) "подкреплении" условного сигнала безусловным стимулом нейрон приобретает способность аналогичным образом активироваться при стимуляции только условного входа, т.е. происходит обучение нейрона.

Однако при современных методических возможностях физиологического эксперимента лишь отдельные фрагменты процесса обучения поддаются

экспериментальному наблюдению и контролю, поэтому важное значение приобретают теоретические исследования, в частности компьютерное моделирование процесса обучения. Результаты численного моделирования процесса обучения создают возможность теоретической интерпретации результатов физиологического эксперимента.

Ранее нами была предложена математическая модель синаптического обучения [5], построенная на основных правилах образования условных рефлексов, с учетом долговременной синаптической пластичности и влияния долговременных изменений эффективности синапса по безусловному входу на эффективность синапса по условному входу. В математической модели синаптического обучения для вызова долгодлящейся потенциации по входам УС и БС использована модель химического синапса, учитывающая кратковременную и долговременную пластичности синапса [6]. Была показана способность модели воспроизводить процесс синаптического обучения [7].

Целью настоящей работы является исследование в вычислительных экспериментах влияния пресинаптических параметров модели синапсов по входам УС и БС на эффективность процесса обучения.

**Результаты и обсуждение.** Представлены результаты вычислительных экспериментов, исследующих влияние отдельных пресинаптических параметров по двум входам (УС и БС) на характер процесса обучения.

Следующие пресинаптические параметры модели синапса [6] используются для описания процесса обучения: вероятность высвобождения ( $P_R$ ), постоянная времени восполнения ( $\tau_R$ ), вероятность мобилизации ( $P_M$ ), постоянная времени мобилизации ( $\tau_M$ ), постоянная времени демобилизации ( $\tau_{DM}$ ). Начальные параметры модели синаптического обучения по двум входам представлены в таблице.

	Варьируемые параметры	Постоянные параметры	Значения постоянных параметров	Расчетные кривые обучения
1	$P_R$	$\tau_R, P_M, \tau_M, \tau_{DM}$	0.05s, 0.67, 0.001s, 0.35s	Рис.1А
2	$\tau_R$	$P_R, P_M, \tau_M, \tau_{DM}$	0.89, 0.67, 0.001s, 0.35s	Рис.2А
3	$P_M$	$P_R, \tau_R, \tau_M, \tau_{DM}$	0.89, 0.05s, 0.001s, 0.35s	Рис.1В
4	$\tau_M$	$P_R, \tau_R, P_M, \tau_{DM}$	0.89, 0.05s, 0.67, 0.35s	Рис.2В
5	$\tau_{DM}$	$P_R, \tau_R, P_M, \tau_M$	0.89, 0.05s, 0.67, 0.001s	Рис.2С

На рис.1, А, В показаны кривые, характеризующие зависимость эффективности синаптического обучения от параметров  $P_R, P_M$ . Параметры модели синаптического обучения по двум входам представлены в таблице. Как видно из рис.1, увеличение вышеуказанных параметров приводит к увеличению эффективности синаптического обучения, поскольку при

увеличении этих параметров происходит возрастание величины уровня установившегося состояния долгодлящейся потенциации по двум входам, что и приводит к увеличению эффективности обучения.

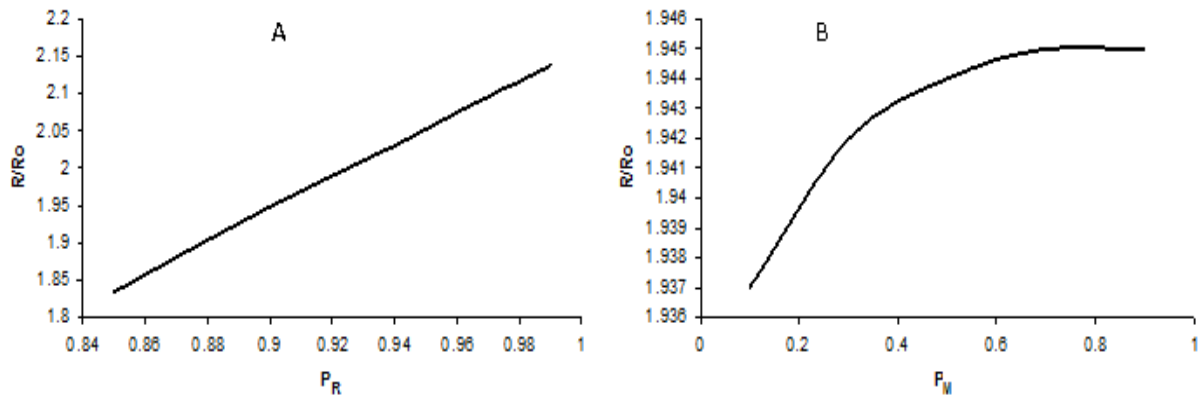


Рис.1. Результаты вычислительных экспериментов с моделью синаптического обучения в зависимости от  $P_R$  и  $P_M$ .

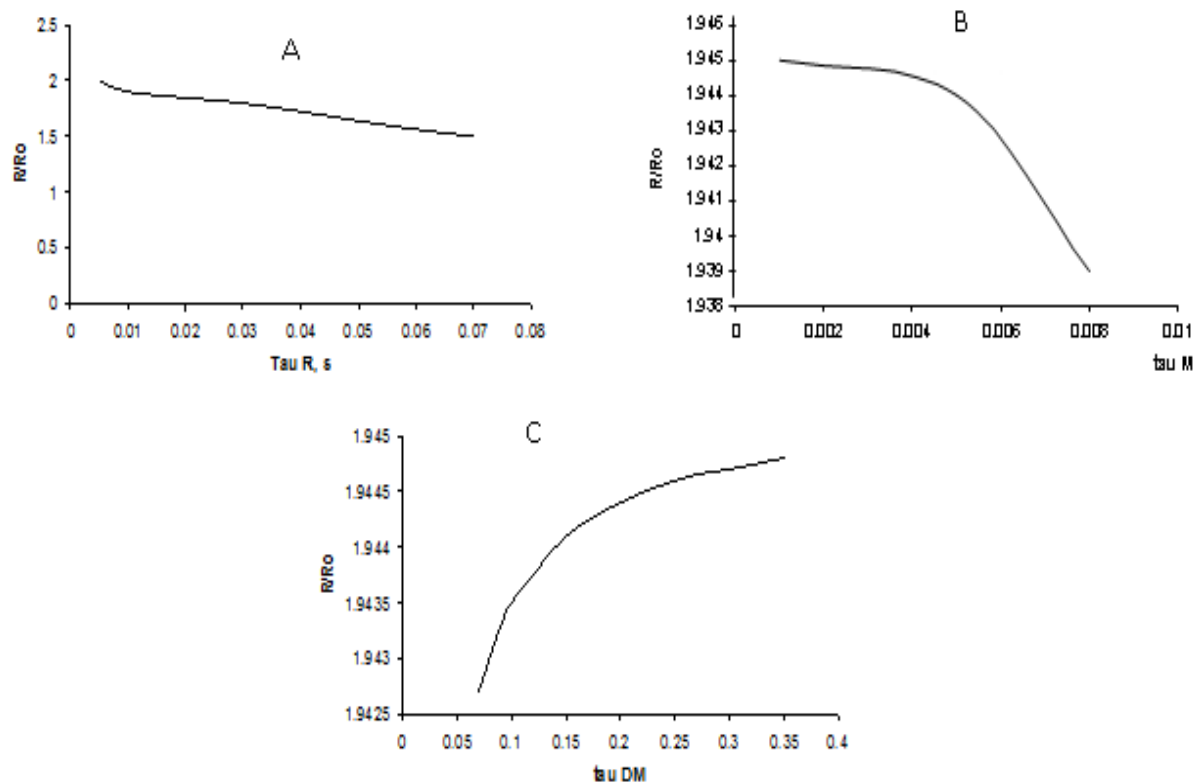


Рис.2. Результаты вычислительных экспериментов с моделью синаптического обучения в зависимости от  $\tau_R$ ,  $\tau_M$  и  $\tau_{DM}$ .

На рис.2,А,В,С показаны кривые, характеризующие зависимость эффективности синаптического обучения от параметров  $\tau_R$ ,  $\tau_M$ ,  $\tau_{DM}$ . Параметры

модели синаптического обучения представлены в таблице. Как видно из рис.2, увеличение  $\tau_R$  и  $\tau_M$  приводит к уменьшению эффективности обучения, поскольку при увеличении этих параметров происходит уменьшение величины уровня установившегося состояния долгодлящейся потенциации по двум входам, что и приводит к уменьшению эффективности обучения. Увеличение же параметра  $\tau_{DM}$  приводит к увеличению эффективности синаптического обучения, поскольку при увеличении этого параметра происходит возрастание величины уровня установившегося состояния долгодлящейся потенциации по двум входам, что и приводит к увеличению эффективности обучения.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов свидетельствуют о том, что при изменении пресинаптических параметров модели синапсов по двум входам происходит изменение эффективности обучения. Варьируя параметрами модели синапсов, можно достигнуть интересующей нас характеристики обучения и исследовать процессы, происходящие в обучающихся нейронных сетях различных структур ЦНС.

Таким образом, предложенная модель может рассматриваться как элемент обучающейся нейронной сети и быть применена для исследования и анализа различных закономерностей, проявляющихся в процессе обучения в нейронных системах.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА

**А. С. Чобанян, Т. С. Мартиросян, О. А. Мкртчян**

### **Вычислительные эксперименты с моделью синаптического обучения**

Представлены результаты вычислительных экспериментов с использованием модели синаптического обучения. Выявлено влияние различных пресинаптических параметров на процесс обучения.

**Ա. Ս. Չոբանյան, Տ. Ս. Մարտիրոսյան, Օ. Ն. Մկրտչյան**

### **Մինապտիկ ուսուցման մոդելի միջոցով կատարված հաշվարկման էքսպերիմենտներ**

Օգտագործելով սինապտիկ ուսուցման մեթոդը՝ ներկայացված են հաշվարկման էքսպերիմենտի արդյունքները: Ցույց է փրված փարբեր պրեսինապտիկ պարամետրերի ազդեցությունը ուսուցման վրա:

A. S. Chobanyan, T. C. Martirosyan, O. A. Mkrtchyan

## Computational Experiments with Synaptic Learning Model

The results of computational experiments are presented, which have been held using the synaptic learning model. The results demonstrate the influence of different parameters of model upon the process of learning.

### Литература

1. *Kim J.J., Jung M.W.* - Neurosci. Biobehav. Rev. 2006. V. 30. P. 188-202.
2. *Sigurdsson T., Doyere V., Cain C.K., LeDoux J.E.* - Neuropharmacology. 2007. V. 52. P. 215-227.
3. *Di Filippo M., Picconi B., Tantucci M. et al.* - Behav. Brain. Res. 2009. V. 199. P. 108-118.
4. *Minichiello L.* - Nat. Rev. Neurosci. 2009. V. 10. P. 850-860.
5. *Чобанян А.С., Мартиросян Т. С., Мкртчян О.А.* - Биол. журн. Армении. 2007. Т. 3-4. N59. С. 220-225.
6. *Sargsyan A.R., Melconyan A.A., Papatheodoropoulos C., Mkrtchian H.H., Kostopoulos G.K.* - Elsevier Science. 2003. Т. 795-2/5. N1. С. 1-17.
7. *Чобанян А.С., Мартиросян Т.С., Мкртчян О.А.* - МАНЭБ. 2008.