Моделирование процессов передачи сигналов в синапсах химического типа

Матухно Алексей Евгеньевич
научный сотрудник
Научно-исследовательский институт нейрокибернетики им. А.Б. Когана,
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
E–mail: MAE_work@mail.ru

Современные исследования медиаторных синапсов убедительно доказывают, что синапс с химическим звеном передачи сигналов представляет собой шумящую, перестраиваемую, морфологически и функционально организованную субклеточную единицу с памятью, осуществляющую вероятностное преобразование входных нервных импульсов, приходящих к синаптическому бутону, в местные постсинаптические потенциалы на постсинаптической мембране. Поскольку непосредственные исследования (особенно на уровне молекулярной организации) подобных биологических объектов, даже с развитием современных микроэлектродных технологий, представляют весьма значительные, а порой непреодолимые, трудности, поэтому разработка компьютерной модели, имитирующей основные процессы в медиаторном синапсе, является альтернативным решением задач, связанных с исследованием синаптических процессов.

Цель настоящего исследования состоит в определении, с помощью разработанной комплексной компьютерной модели транссинаптической передачи сигналов в синапсах химического типа, роли отдельных структурно-функциональных характеристик синаптического образования в процессах преобразования входных сигналов. Созданная комплексная модель медиаторного синапса учитывает три уровня его организации: синаптический бутон, синаптическую щель и постсинаптическую мембрану. Особенность разработанной модели заключается в детальном описании всех важнейших морфо-функциональных особенностей организации синаптического образования с учетом молекулярного уровня рассматриваемых явлений. На уровне синаптического бутона моделируются процессы выброса медиатора с учетом различных механизмов модуляции секреторного процесса. Учитываются морфологические и физиологические свойства пресинаптической мембраны, предусмотрена возможность формирования заданной сети синаптопор на этой мембране, определяются функциональные характеристики запаса медиатора, учитываются механизмы влияния ионов Ca^{2+} на секрецию медиатора. Блок модели, описывающий синаптическую щель, учитывает динамику транспорта медиатора от пресинаптической мембраны к постсинаптической мембране, включая влияние синаптических нитей на диффузию молекул медиатора в пространстве щели и электрокинетическое смещение пре- и постсинаптической мембран при изменении трансмембранной разности потенциалов. На уровне постсинаптической мембраны моделируются процессы изменения мембранного потенциала в области каждого хеморецептора после диффузии молекул медиатора. Предусмотрена возможность формирования заданной сети хеморецепторов на этой мембране, определение типа и свойств каждого из встроенных в мембрану рецепторов (ионотропный или метаботропный, возбуждающий или тормозный), учитывается влияние аннигиляционных процессов.

Анализ экспериментальных данных, полученных на основе описанной выше модели, показал, что преобразование входной информации (в виде развивающихся на пресинаптической мембране потенциалов действия) в выходной поток постсинаптических потенциалов на постсинаптической мембране осуществляется на всех уровнях организации синапса (синаптический бутон, синаптическая щель, постсинаптическая мембрана). Определены направленность и степень влияния всех варьируемых параметров модели. Есть все основания предполагать о наличии механизмов распознавания входной информации в составе химического синапса.