

МИНИМАЛИСТИЧНАЯ МОДЕЛЬ АВТОРЕГУЛЯЦИИ КЛЕТОЧНЫХ ОБЪЕМОВ В НЕЙРОВАСКУЛЯРНОЙ ЕДИНИЦЕ

Постнов Д.Э., Лошкарев Р.И.

«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени
Н.Г. Чернышевского», 410012, Саратов, Астраханская 83.

Понятие о нейроваскулярной единице (НВЕ) в нейрофизиологии было введено для обозначения клеток и сигнальных путей, обеспечивающих регуляцию кровоснабжения нейронов паренхимы головного мозга в зависимости от их активности. С точки зрения теоретической биологии НВЕ – весьма непростой объект, так как в его работе задействованы разные типы клеток: нейроны, астроциты, гладкомышечные клетки сосудов и эндотелий, которые по-разному взаимодействуют друг с другом. Тем не менее, к настоящему времени разработаны математические модели основных процессов в НВЕ. Как правило, эти модели требуют больших вычислительных ресурсов и не подходят для анализа их динамических свойств. В отличие от синаптически связанных нейронов, клетки в НВЕ взаимодействуют в основном путем высвобождения веществ в межклеточное пространство, что называется объемной передачей (volume transmission). В последнее время исследования НВЕ привлекли повышенное внимание в связи с глимфатической гипотезой - предложенным механизмом дренажа паренхимы мозга. В частности, важные различия были обнаружены в состояниях бодрствования и сна. Было показано, что эффективность выведения метаболитов шлаков во время сна значительно повышается, что связано с изменением соотношения внутриклеточного и внеклеточного объемов в НВЕ. Математические модели процесса авторегуляции объема живых клеток на основе баланса осмотических сил предложены достаточно давно. Недавно в отношении НВЕ было показано, что учет трансмембранного потока ионов хлора может объяснить различия в регуляции объема между нейронами и астроцитами. Итак, в отличие от традиционных математических моделей нейронов, описание работы НВЕ требует учета (1) объемной передачи и (2) динамической регуляции объема. На уровне непосредственного описания биофизических процессов (трансмембранные потоки ионов, осмотические силы) такие модели многомерны и динамически непрозрачны. Для лучшего понимания возможных динамических последствий такого расширения модели уместно минималистичное описание, которое было бы основано на основных биофизических процессах, описывая их с минимальным количеством динамических переменных и управляющих параметров, подобно как модель ФитцХью-Нагумо описывает динамику возбудимого нейрона. В данной работе мы предлагаем такую □□ минималистичную модель, которая основана на модели ФитцХью-Нагумо с шумовым возбуждением и дополнена переменным объемом внеклеточного пространства. Такая модель приобретает новые динамические свойства по сравнению с традиционной моделью нейрона. Результаты показывают, что наша модель адекватно описывает изменение объема клеток и межклеточного пространства в НВЕ.