

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ КИНЕТИКИ ВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА ИОННЫХ КАНАЛОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

Гриневич А.А., Асташев М.Е.

Институт биофизики клетки РАН, лаб. Клеточной нейробиологии,
Россия, 142290, Московская обл., г.Пушино, ул. Институтская, д. 3,
Тел.: (495) 923-74-67 доб. 3-15, факс: (4967)33-05-09,
E-mail: grinevich@icb.psn.ru, grin_aa@mail.ru

Построена физико-математическая модель кинетики воротного механизма ионных каналов. Согласно модели, воротные частицы подвергаются действию следующих сил: 1) детерминированной силе трения, определяющей взаимодействие частиц с окружающим раствором (средой); 2) детерминированной потенциальной силе, обусловленной строением поры и ее конформационным состоянием, зависящим от трансмембранного потенциала V , и определяющей движение частиц, преодолевающих потенциальные барьеры при переходе из закрытого состояния канала в открытое и наоборот; 3) детерминированной силе взаимодействия воды с гидрофобными участками поры и 4) случайной силе тепловых флуктуаций.

В основе модели лежит подход, в котором подвижные части трансмембранных сегментов канального белка, формирующих пору, рассматриваются как воротные макрочастицы, находящиеся под воздействием тепловых флуктуаций со стороны окружающего раствора в детерминированном поле сил. Динамика таких частиц обычно описывается уравнением Ланжевена, из которого было получено основное уравнение модели:

$$\frac{d^2}{d\tau^2}\varphi(\tau) = -\frac{d}{d\tau}\varphi(\tau) - 3\frac{E_g}{\gamma^2 m L^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} U(\varphi, \tau, V) + 3\sqrt{\frac{kT}{2\gamma^3 m L^2}} \zeta(\tau)$$

Здесь $\varphi(\tau)$ – угол отклонения подвижной части трансмембранных сегментов от центра поры, $\tau = \gamma t$ – безразмерное время, γ – коэффициент трения, E_g – величина энергетического барьера между закрытым и открытым конформационными состояниями канала, m и L – масса и длина подвижной части трансмембранных сегментов, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. $\zeta(\tau)$ – случайная сила.

Как показали расчеты, такая модель хорошо описывает сложную динамику воротного процесса K_v - и K_{Ca} -каналов.