

МЕМБРАННАЯ БИОЭНЕРГЕТИКА И РАЗДЕЛЕНИЕ ТРУДА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ КЛЕТОК

© 2021 г. Т. В. Потапова*

Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, 119899 Россия

*E-mail: potapova@belozersky.msu.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020 г.

После доработки 10.09.2020 г.

Принята к публикации 11.09.2020 г.

С позиций современной мембранной биоэнергетики возможно разделение в пространстве мембранных белков, обеспечивающих запасание и использование энергии, аккумулированной в форме мембранного потенциала (МП). Наличие в многоклеточных системах электрической связи через проницаемые контакты (ПК) создает возможность транспорта энергии через ПК и на этой основе разделения труда между соседними клетками. Происходящие при этом процессы и явления проявляются в изменениях электрических характеристик отдельных клеток и ПК и могут быть количественно проанализированы с помощью описания клеток и клеточных систем как эквивалентных электрических кабелей. В настоящем обзоре приводятся данные многолетних исследований с участием автора передачи энергии через ПК в эволюционно различных многоклеточных системах: трихомах нитчатых цианобактерий, гифах мицелиальных грибов и монослойных культурах клеток животных. Более детально рассмотрена, как удобная экспериментальная модель, гифа *Neurospora crassa*. На основе сопоставления собственных данных с большим объемом данных из литературы рассмотрена гипотеза о возможном участии в самоорганизации внутриклеточных структур на верхушке растущей гифы *N. crassa* локальных электрических полей, которые создаются при разделении между клетками функций генерации МП и использования его энергии. Представления об особенностях электрических процессов и явлений, сопровождающих транспорт энергии через ПК, могут быть полезны при анализе многих важных вопросов, связанных с рассмотрением механизмов реализации генетических “инструкций” в конкретных жизненных процессах.

Ключевые слова: биоэнергетика, мембранный потенциал, межклеточные взаимодействия, электрическая связь, локальные электрические поля, разделение труда, *Neurospora crassa*

DOI: 10.31857/S0041377121010089

В рамках представлений современной мембранной биоэнергетики (Скулачев и др., 1977, 2010; Skulachev, 1988) разность электрохимических потенциалов ионов H^+ на сопрягающей мембране ($\Delta\mu H^+$) представляет собой наряду с АТФ конвертируемую и транспортабельную форму энергии в клетке, которая обеспечивает различные типы жизненной активности, такие как химическая, осмотическая и механическая работа и производство тепла. Транспорт энергии в форме $\Delta\mu H^+$ вдоль сопрягающих мембран объединяет тысячи генераторов $\Delta\mu H^+$ в единую энергосистему.

Транспорт ионов через плазматическую мембрану у всех живых клеток от прокариотов до эукариотов — необходимая составная часть поддержания ионно-осмотического гомеостаза, передачи инфор-

мации, энергетического обеспечения клеточного метаболизма, снабжения клеток субстратами и удаления продуктов жизнедеятельности (Mitchell, 1962, 1966; Crane, 1977; Harold 1986; Slayman, 1987; Skulachev, 1988). В стационарном состоянии все ионные потоки взаимосогласованы между собой и с энергетическим статусом клетки. Транспорт ионов, необходимых для выполнения клеткой определенных функций, осуществляют разнообразные внутримембранные белки, которые являются либо первичными ионными насосами, как, например, непосредственно потребляющая энергию АТФ протонная АТФаза грибной клетки (Slayman, 1987), либо вторичными транспортерами, например, те, которые у грибов осуществляют в симпорте с протоном перенос сахаров, аминокислот и ионов (Slayman, Slayman, 1974; Sanders et al., 1983; Blatt, Slayman, 1987; Rodriguez-Navarro et al., 1986). Активная работа подобных транспортных белков создает значительные

Принятые сокращения: ВР — верхушечный рост; МП — мембранный потенциал; ПК — проницаемые контакты.