

Б. А. ФИХТЕ, Э. И. ЗАЙЧКИН

МЕЖМЕМБРАННЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ УЛЬТРАСТРУКТУРЫ У МИКРООРГАНИЗМОВ

(Представлено академиком А. А. Базовым 9 VII 1975)

Функционирование клетки как интегрированной целостной системы во многом зависит от характера и особенностей взаимодействия ее мембранных структур. Это взаимодействие может осуществляться при помощи химических механизмов связи, т. е. путем миграции особых веществ. Химические дистантные механизмы связи отличаются сравнительно медленной передачей сигналов и, по-видимому, малоэффективны в тех случаях, когда требуются высокие скорости распространения некоторых эффектов (например: реакции типа антиген — антитело, действие АДФ на митохондрии, конформационные перестройки и др.). Для быстродействующих процессов, основанных на кооперативных взаимодействиях, необходимы более эффективные локальные и одновременно дальнодействующие связи и коммуникации между мембранными системами и органеллами клетки. Подобные связи предполагают наличие физической непрерывности между взаимодействующими структурными элементами клетки. Однако формы и реальные механизмы таких связей, равно как и возможная роль последних в обеспечении и сохранении характерной динамики геометрических соотношений и конфигураций внутриклеточных ультраструктур и регулирования их подвижности в клетке до сих пор не ясны. Многие из описанных ранее форм прямой связи между клеточными органеллами и непосредственных переходов одних типов мембран в другие встречаются, по-видимому, крайне редко и представляют скорее патологические состояния, чем нормально функционирующие механизмы взаимодействия внутриклеточных структур (¹⁻⁴).

Важным вкладом в развитие идеи физической непрерывности внутриклеточных мембран явилось открытие так называемых поперечных мостиков (cross-bridges), посредством которых органеллы могут соединяться друг с другом. Такие мостики обнаружены у некоторых клеток эукариотных организмов, где они играют роль структур, соединяющих микротрубочки между собой (⁶), с ядерным веществом (⁵), с мембранами (^{7, 8}), а также последние друг с другом (⁹⁻¹¹).

Проведенные нами криофрактографические исследования клеток некоторых дрожжей, микцелиальных грибов и бактерий (^{12, 13}) позволили выявить наличие многочисленных микрофибриллярных образований, связанных с мембранами. На продольных сколах микрофибриллы, как правило, обнаруживаются на периферии мембран, где плоскость скола переходит с гидрофобной поверхности липидного матрикса на окружающую мембрану цитоплазмы. В этих участках видно, что микрофибриллы выходят из липидного матрикса, пересекают половину мембраны, удаленную в процессе скола, и погружаются в цитоплазму (рис. 1А). Диаметр микрофибрилл составляет 50—100 А, а определяемая длина 200—1000 А. На поперечных сколах микрофибриллы имеют вид цилиндрических образований, пересекающих мембрану или отходящих от одной из ее сторон (рис. 1В). Микрофибриллы обнаружены на всех типах мембран исследованных клеток дрожжей, грибов и бактерий. Исключение составляют мембраны миелоноподобных фигур, которые также лишены и глобулярных частиц. Рис. 1 (А—Г) см. вкл. к стр. 947.

Плотность распределения микрофибрилл зависит от возраста культуры и, по-видимому, определяется функциональным состоянием мембран индивидуальных органелл. Наиболее часто микрофибриллярные структуры выявляются на мембранах молодых, активно делящихся клеток. Установлена корреляция между плотностью распределения микрофибрилл и формой упаковки глобулярных частиц. Последние в преобладающем большинстве случаев беспорядочно распределены на гидрофобных поверхностях липидного матрикса, и по-видимому, представляют собой динамичные гликопротеиновые и протеолипидные комплексы. Иногда они могут ча-

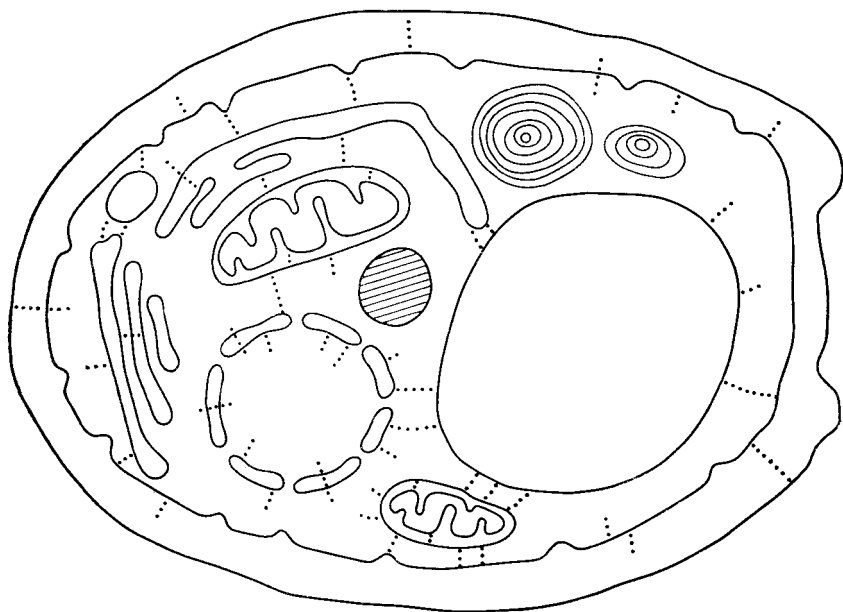


Рис. 2. Схема анатомической интеграции мембранных систем дрожжевой клетки (точками обозначены межмембранные соединительные структуры — «интегрсомы»)

стично или полностью перегруппировываться, образуя короткие цепочки, по внешнему виду напоминающие микрофибриллы. Таким мембранам соответствует наибольшее число микрофибриллярных структур. Микрофибриллы, как и глобулярные частицы, чувствительны к протеолитическим ферментам.

Дальнейшие исследования показали, что микрофибриллы могут соединять друг с другом различные мембраны близко расположенных органелл. Установлена связь цитоплазматической мембраны с наружной мембраной митохондрий, вакуолярной мембраной и эндоплазматическим ретикулумом (рис. 1Г), и наружной митохондриальной мембраной, а также последней с мембранами эндоплазматического ретикулума и вакуолей. Микрофибриллы могут соединять между собой и двойные мембранные системы: перинуклеарное (рис. 1В) и перимитохондриальное пространства, цистерны эндоплазматического ретикулума (рис. 1Б) и аппарата Гольджи. По-видимому, наличие микрофибрилл обеспечивает этим мембранным органеллам свойственную им уплощенную форму. Микрофибриллы могут соединять мембраны одного и того же типа органелл. Кроме того, внешняя поверхность цитоплазматической мембраны содержит многочисленные микрофибриллярные образования, проникающие в вещество клеточной стенки.

Таким образом, полученные нами данные указывают на существование у различных типов мембран дрожжей, грибов и бактерий особых микрофибриллярных структур, условно названных нами «интегрсомами», по-

средством которых, внутриклеточные органеллы объединяются в единую анатомически интегрированную систему (рис. 2). Такое контактное взаимодействие, в отличие от луминальной непрерывности, способно обеспечивать всей системе внутриклеточных мембран и индивидуальных органелл необходимую динамичность и сохранение характерных для них специфических свойств. Хотя природа и функции описанных микрофибрилл и поперечных мостиков пока точно не известны, их морфологическое сходство позволяет отнести эти образования к единому универсальному классу соединительных структур, присущих как эукариотным, так и прокариотным организмам.

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
Академии наук СССР
Пущино Московской обл.

Поступило
30 VI 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Franke, J. Kartenbeck, *Protoplasma*, v. 73, 35 (1971). ² D. Morre, W. Merritt, C. Lembi, *Protoplasma*, v. 73, 43 (1971). ³ C. Bracker, S. Grove, *Protoplasma*, v. 73, 15 (1971). ⁴ W. Crotty, *Science*, v. 182, 839 (1973). ⁵ W. Franke, *Protoplasma*, v. 73, 263 (1971). ⁶ P. Hepler, J. McIntosh, S. Cleland, *J. Cell Biol.*, v. 45, 438 (1970). ⁷ W. Franke, *Exp. Cell Res.*, v. 66, 486 (1971). ⁸ R. Brown, W. Franke, *Planta*, v. 96, 354 (1971). ⁹ O. Kiermayer, *Planta*, v. 83, 223 (1968). ¹⁰ H. Wilson, *J. Cell Biol.*, v. 40, 854 (1968). ¹¹ W. Franke, J. Kartenbeck et al., *J. Cell Biol.*, v. 51, 881 (1971). ¹² Б. А. Физге, Э. И. Заичкин, Тез. докл. международн. биофиз. конгр. (Москва), т. 3, 1972, стр. 179. ¹³ Б. А. Физге, Э. И. Заичкин, Е. Н. Ратнер, Новые методы физического препарирования биологических объектов для электронномикроскопических исследований, М., «Наука», 1973. ¹⁴ D. Branton, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, v. B261, 133 (1971).

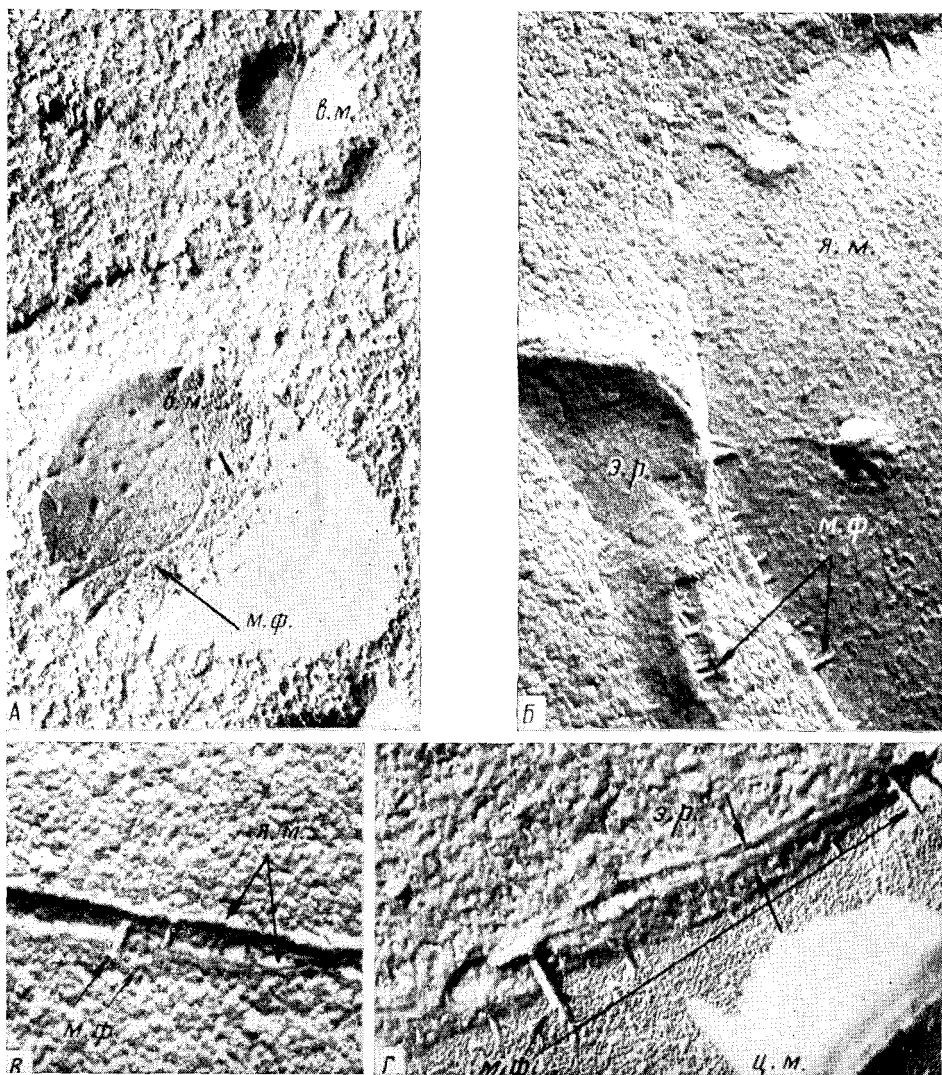


Рис. 1. Продольные (А, Б, Г) и поперечные (В) сколы клеток *Endomyces magnus*. Видны микрофибриллы (м.ф.), соединяющие различные типы мембран. в.м. — вакуолярная мембрана, я.м. — ядерные мембраны, э.р. — мембраны эндоплазматической сети, ц.м. — цитоплазматическая мембрана. 35 000X