

Вопросы общей патологии

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ГОЛЬДЖИ

Сесорова И.С.*¹, кандидат биологических наук,
 Безнусенко Г.В.², доктор медицинских наук,
 Долгих В.В.³, кандидат биологических наук,
 Лазоренко Т.В.¹, кандидат медицинских наук

¹ Кафедра анатомии человека, топографической анатомии и оперативной хирургии ГОУ ВПО «Ивановская государственная медицинская академия Росздрава», 153012, Иваново, Ф. Энгельса, 8

² Институт клеточной биологии и онкологии, лаборатория внутриклеточного транспорта Consorzio Mario Negri Sud, Италия, Santa Maria Imbaro

³ Лаборатория микробиологического контроля ГУ «Всероссийский НИИ защиты растений РАСХН», 196608, Санкт-Петербург, Пушкин-8, шоссе Подбельского, 3

РЕЗЮМЕ Анализируются данные литературы и собственных исследований, относящиеся к организации секреторного транспорта эукариот. Выделены базовые типы строения комплекса Гольджи, на основании которых предлагается новая классификация органеллы. Предлагаемая классификация позволяет уточнить и дополнить представления о структуре и механизмах функционирования комплекса Гольджи, а также сделать предположение о возможных путях эволюции секреторного транспорта эукариот.

Ключевые слова: комплекс Гольджи, структурная организация.

* Ответственный за переписку (corresponding author): e-mail: irina@yandex.ru

Организация секреторного транспорта является одной из фундаментальных проблем клеточной биологии. Однако несмотря на многочисленные исследования, посвященные этой проблеме, единого мнения о механизмах перемещения молекул через комплекс Гольджи (КГ) не сложилось [1, 5, 6, 7], так же как и не существует четкого представления о причинах морфологической изменчивости органеллы в клетках эукариот. Тем не менее, мы полагаем, что на некоторые вопросы, касающиеся организации секреторного транспорта, можно найти ответы при рассмотрении особенностей строения КГ клеток организмов разных систематических групп [2]. Целью работы стал сравнительно-морфологический анализ структурной организации КГ клеток эукариот.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проанализировано строение КГ: фибробластов животных всех основных типов; клеток дрожжей *Saccharomyces cerevice*; высших растений (гороха посевного, *Pisum sativum*); основных таксономических групп одноклеточных организмов (*Amoebozoa*, *Rhizaria*, *Excavata*, *Chromalveolata*). В качестве основных критериев оценки структурной организации использовали упаковку мембран КГ в виде стопки (диктиосомы) и закономерность расположения структур органеллы в клетке.

В работе использован комплекс электронно-микроскопических методов: просвечивающая электронная микроскопия нативных препаратов; компьютерная электронная томография с последующей ре-

Sesorova I.C., Beznoussenko G.V., Dolgikh V.V., Lazorenko T.V.

BASIC TYPES OF GOLGI APPARATUS STRUCTURAL ORGANIZATION

ABSTRACT Authors analyze data of their own observations and other reports concerning the organization of eukaryotic secretory transport. Basic types of Golgi apparatus structure are singled out. A new classification of organella is suggested, it is based upon above mentioned basic types. This classification allows to specify and to add the concept of structure and functioning mechanisms of Golgi apparatus so as to make a suggestion upon possible evolution ways of eukaryotic secretory transport.

Key words: Golgi apparatus, structural organization.

конструкцией трехмерного изображения. Полученные результаты сопоставили с литературными данными [3, 4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенного морфологического анализа и имеющихся литературных данных нами выделено несколько базовых типов строения КГ. Наиболее распространенным из них является *центросомальный диктиосомальный (стопочный)*. Данный тип строения КГ наблюдается в клетках всех многоклеточных животных (Metazoa). Он характеризуется наличием четко морфологически определяемой стопки уплощенных мембранных мешочков (цистерн), в которых иммуноцитохимически выделяются: цис-, транс-цистерны, а также медиальные. Кроме того, между эндоплазматическим ретикулумом и первой цистерной определяется промежуточный компартмент, представленный везикулярно-тубулярными кластерами (VTC) и /или цис-сетью. Цис-сеть своим названием обязана наличию соединений с цис-цистерной, т.е. первой цистерной КГ. Последняя цистерна (транс-цистерна) на противоположной стороне диктиосомы переходит в транс-сеть.

В большинстве животных клеток соседние диктиосомы связаны между собой латерально-тубулярными структурами, образующими так называемые «некомпактные зоны». КГ в животных клетках всегда имеет определенную локализацию: он расположен вокруг центра организации микротрубочек

(ЦОМ). В результате чего вокруг ЦОМ формируется своеобразная лентовидная сетчатая структура. В такой мембранной «ленте» стопки могут находиться в разных плоскостях. Выраженность «некомпактных зон» в клетках даже одного вида разная и зависит от фазы секреторной активности клетки и фазы клеточного цикла. Такой тип КГ мы определяем как *центросомальный диктиосомальный (стопочный) лентовидный* (рис. 1).

Однако в клетках отдельных систематических групп животных, например насекомых, диктиосомы КГ не связаны между собой латерально, но локализируют-

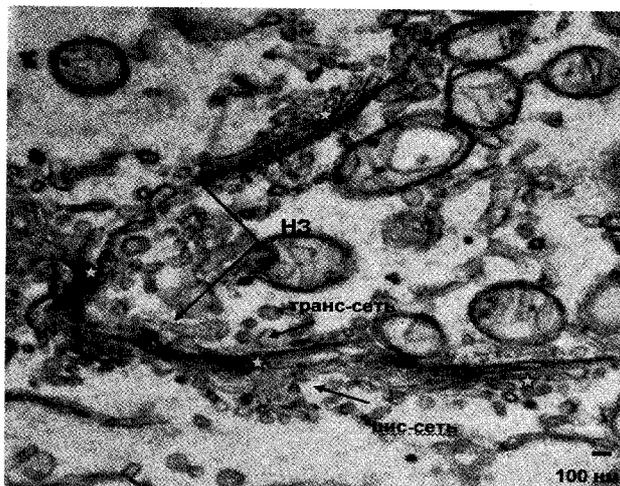


Рис. 1. Фибробласт лягушки травяной (*Rana temporaria*). Звездочкой обозначены диктиосомы КГ; НЗ – «некомпактные зоны». ТЭМ. х 16 500

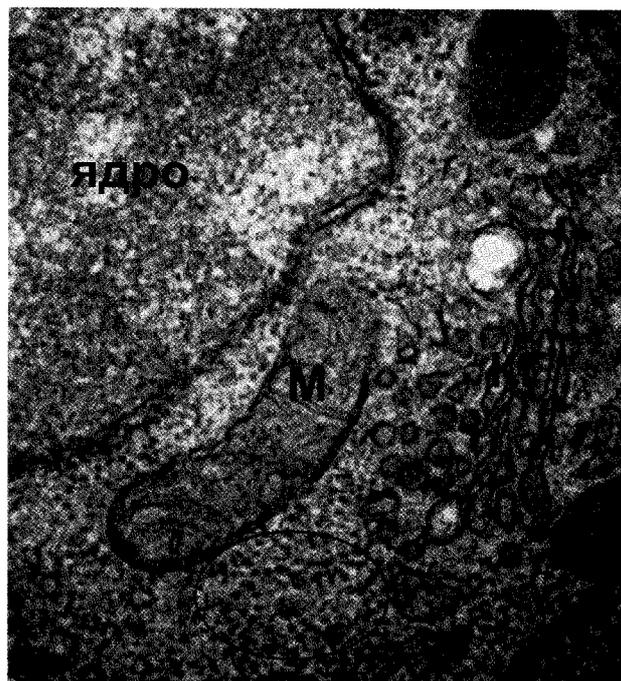


Рис. 2. Фибробласт интерстициальных трофических тканей сверчка (*Gryllus imaculatus*). Овалом обозначена зона между двумя диктиосомами комплекса Гольджи, показано отсутствие «некомпактных» зон комплекса Гольджи; М – митохондрия. Серийные срезы. ТЭМ. х 26 500

ся так же вокруг ЦОМ. Такой вид органеллы можно определить как *центросомальный диктиосомальный (стопочный) фрагментированный*.

Еще одним базовым типом строения КГ является *диспергированный диктиосомальный фрагментированный тип*, при котором цистерны органеллы также формируют диктиосомы, однако «некомпактные зоны», связывающие в животных клетках соседние стопки КГ между собой, отсутствуют. Диктиосомы локализуются обычно около ядерной или плазматической мембраны, в непосредственной близости от мембран эндоплазматического ретикула. Цис-сеть КГ не выявлена. Такой тип строения характерен для растений и большинства простейших (рис. 2).

У целого ряда организмов КГ может представлять собой скопление мешочков и пузырьков или формироваться из единственной мешкообразной цистерны, окруженной немногочисленными везикулярными профилями. Промежуточный компартмент и цис-сеть не выявляются. Кроме того, структуры КГ не имеют определенной локализации в клетке, а более или менее равномерно распределяются в цитоплазме. Данный тип можно определить как *диспергированный сакулярный фрагментированный*. Это наиболее распространенный в живом мире тип строения КГ, который встречается у грибов [8], низших растений и простейших [3]. При этом его можно разделить на два вида: *сакулярно-варикозный* и *сакулярно-стопочный*. Первый может быть представлен единичным мембранным мешочком и скоплением везикулярно-тубулярных структур. Второй – расширенными двумя-тремя мембранными мешочками, лежащими один над другим и, возможно, окруженными единичными округлыми профилями.

Наконец, еще один выделенный нами тип строения КГ – *диспергированный тубулярный фрагмен-*

тированный. В данном случае КГ представлен скоплениями сетевидных трубчатых структур, не связанными между собой и рассеянными в цитоплазме (рис. 3). Такой тип КГ встречается нечасто, например, у внутриклеточных паразитических простейших [2, 4].

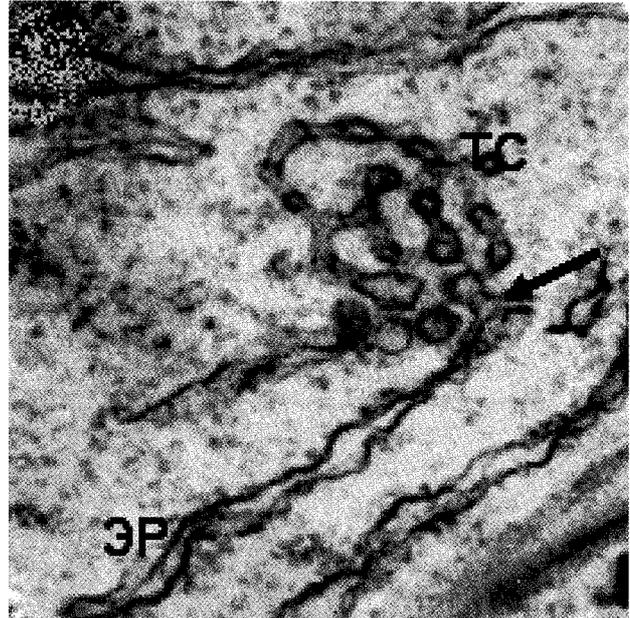


Рис. 3. Комплекс Гольджи микроспоридии (*Nosema grylli*): ТС – тубулярная сеть; ЭР – эндоплазматический ретикулум; стрелкой обозначено соединение трубочек комплекса Гольджи с цистерной ретикула. ТЭМ. x 53 000

ВЫВОДЫ

Представленная классификация (рис. 4) обобщает типовые черты строения пластинчатого комплекса разных систематических групп эукариот, позволяет уточнить и дополнить представления о структуре и функционировании КГ, особенно у мало изученных таксонов, а также предположить возможные пути эволюции секреторного транспорта эукариот.

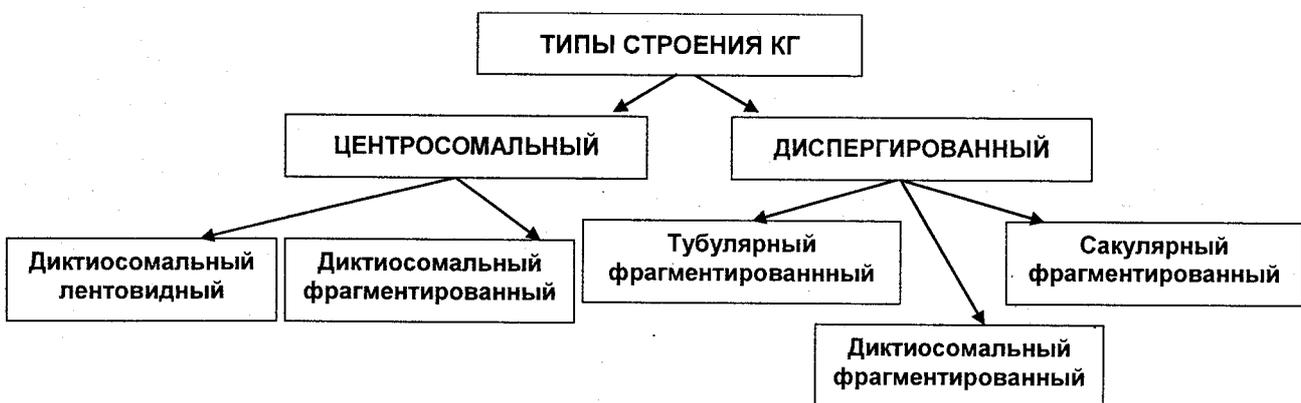


Рис. 4. Морфологические типы строения комплекса Гольджи

ЛИТЕРАТУРА

1. Банин В.В., Безнусенко Г.В., Сесорова И.С. Цитологические подходы к анализу структуры и функций комплекса Гольджи // *Морфология*. – 2004. – Т. 127, № 4. – С. 16–17.
2. Сесорова И.С., Безнусенко Г.В., Банин В.В., Долгих В.В. Эволюционный подход в понимании структурно-функциональной организации комплекса Гольджи // *Морфология*. – 2006. – Т. 129, № 1. – С. 91–94.
3. Dacks J.B., Doolittle W.F. Novel syntaxin gene sequences from *Giardia Trypanosoma* and algae: implications for the ancient evolution of the eukaryotic endomembrane system // *J. Cell. Sci.* – 2002. – Vol. 115. – P. 1635–1642.
4. Dolgikh V.V., Beznoussenko G.V., Semenov P.B., Sokolova Y.Y., Mironov A.A. Intracellular transport of secretory proteins in microsporidia occurs in the absence of small, coat-dependent vesicles // *Proceedings of NATO Advanced Research Workshop «Emergent Pathogens in the 21st Century: First United Workshop on Microsporidia from Invertebrate and Vertebrate Hosts»*. – Ceske Budejovice, 2004. – P. 18.
5. Farquhar M.G., Palade G.E. The Golgi apparatus (complex) (1954–1981) – from artifact to center stage // *J. Cell. Biol.* – 1981. – Vol. 91. – P. 77–103.
6. Mironov A., Pavelka M. *The Golgi Apparatus. State of the Camillo Golgi's discovery*. – Springer-Wien-York, 2008. – 716 p.
7. Rambourg A., Clermont Y. Three-dimensional electron microscopy: structure of the Golgi apparatus // *J. Cell. Biol.* – 1990. – Vol. 51. – P. 189–200.
8. Soren M., Gomez-Ospina N., Soderholm J., Benjamin S., Click B.S., Staehelin L.A. Tomographic evidence for continuous turnover of Golgi cisternae in *Pichia pastoris* // *Mol. Biol. Cell.* – 2003. – Vol. 14. – P. 2277–2291.

Поддержано Российским фондом
фундаментальных исследований
(РФФИ № 08-04-01358)

Поступила 20.07.2009 г.