

Управление ростом трехмерных структур на примере биоклетки

© С.Л. Григорьев

(Поступило в Редакцию 5 февраля 2001 г.)

Целью данной работы, относящейся к области биотехнологий, являются уменьшение размеров элементов конструкций (наноэлектроника, нанооптика) и создание объемных управляемых структур (наномеханика). На примере биоклетки показана роль радиационно-химических процессов в управлении транспортом веществ и ростом мембран и волокон. Последние при этом рассматриваются как волноводы, направляющие импульсы управления. Предполагается, что этот процесс позволяет создавать трехмерные (объемные) нейронные сети.

В области нанотехнологий растет интерес к самоорганизующимся (selfassembly) кластерным структурам [1,2]. Используя основополагающий принцип корпускулярно-волнового дуализма, рассмотрим влияние волновых процессов на эти технологии. Известно, что внутренние колебания атомов в веществе могут играть важную роль в процессе создания структуры и ее последующего функционирования. В неорганических кристаллах в стационарных условиях тепловые колебания атомов образуют стоячие волны, не переносящие энергию. В процессе роста кристалла происходит волновой перенос энергии (фононов), оказывающий влияние на массоперенос. Энергия электромагнитных волн используется для синтеза сложных веществ в радиационной химии. Под влиянием квантов света происходит фотосинтез в природе, конформация и полимеризация углеводов в технике [3]. По-видимому, жизнедеятельность и рост клеток живых организмов также сопровождается электромагнитными волновыми явлениями [4]. Причем этот процесс является единственным реальным примером самоорганизующейся кластерной системы.

Рассмотрим живую клетку как самоуправляемую растущую структуру. Клетка (рис. 1) состоит из клеточной мембраны, ядра и цитоплазмы, содержащей растворенные органические вещества и ряд органелл (митохондрий, рибосом и др., которые здесь не рассматриваются). Достижения генетики показывают, что многоатомные молекулы ядра — ДНК и РНК несут наследственную информацию и регулируют все этапы развития клетки [5]. Выделяют два основных этапа: деление клетки и период роста. Каждый из этих этапов характеризуется своим строением ядра: в период деления молекулы ДНК свиваются в комплексы, называемые хромосомами. Деление клетки начинается с деления хромосом. В период роста клетки комплексы ДНК раскручиваются и молекулы ДНК равномерно распределяются в ядре. Химический механизм передачи генетической информации при делении клетки и механизм синтеза белков с участием ДНК–РНК подробно изучены [5,6] и представляют собой контактную (адсорбционно-химическую) реакцию. Радиационные методы (рентгенография, лазерная спектроскопия и т.д.) также позволяют считывать информацию с нуклеиновых кислот, но "расшифровка" этих данных представляет собой длительный процесс. Однако в пределах клетки, как самоуправляемой системы,

радиационный механизм "считывания" может работать в режиме реального времени и обеспечивать оперативное управление жизнедеятельностью клетки. Рассмотрим возможность этого механизма в управлении транспортом веществ и ростом клеточной мембраны. Начнем с анализа колебательных свойств ДНК.

Молекула ДНК представляет собой цепь атомных группировок, свитых в спираль и соединенных между собой сравнительно слабыми водородными связями (рис. 1). Особенностью таких молекул является существование вращательных (крутильных) стационарных колебаний, амплитуда которых может достигать 1 \AA , а частота лежит в диапазоне $50\text{--}200 \text{ cm}^{-1}$ (субмиллиме-

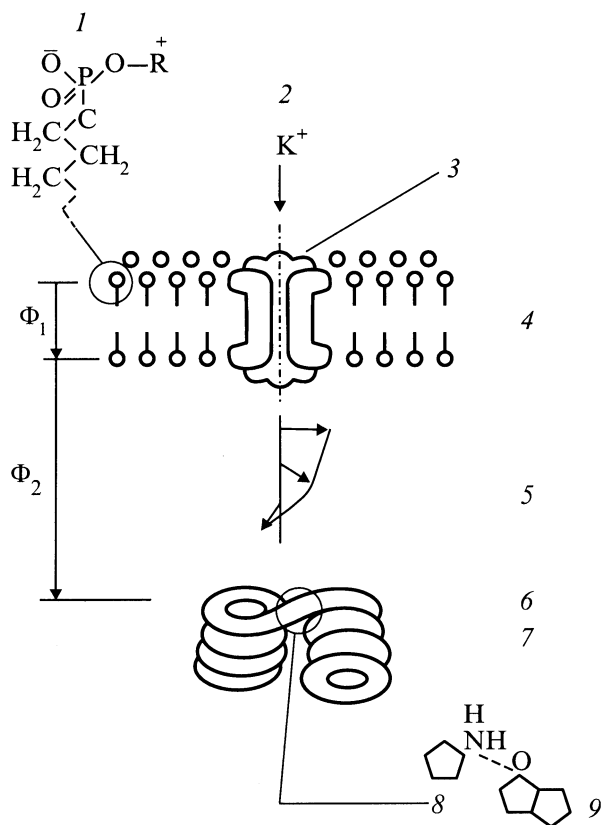


Рис. 1. Схема клетки: 1 — фосфолипид, 2 — внеклеточная жидкость, 3 — мембранный белок, 4 — липидный слой мембраны, 5 — циркулярнополяризованная волна (импульс), 6 — молекула ДНК, 7 — ядро клетки, 8 — цитозин, 9 — гуанин.

тровые волны) [7]. Кроме того, фосфатные группы, азотистые основания ДНК и адсорбированные белки имеют электрические дипольные моменты [6]. Вращательные колебания этих диполей могут быть источником электромагнитных волн. В стационарном состоянии дифракция этих волн на периодической структуре ДНК дает стоячую волну, которая не переносит энергию [8]. В нестационарном состоянии возможно рождение электромагнитных импульсов (солитонов), которые могут распространяться вдоль молекулярной цепи [9]. Жизнедеятельность и рост клетки представляют собой именно такой нестационарный процесс. Причиной нестационарности может быть эволюционное раскручивание цепей ДНК (см. выше описание периодов жизни клетки) либо нарушение мембранного потенциала из-за изменения ионного состава внутри- или внеклеточной жидкости. Рассмотрим вторую причину (рис. 1). Изменение потенциала (ϕ) повлияет на полярные молекулярные группы ДНК, в результате чего изменится частота крутильных колебаний, генерируемых ДНК (происойдет квантовый переход, известный как эффект Штарка). Мембрана содержит глобулярный белок — ионный канал (рис. 1), который также имеет полярные группы с определенной частотой колебаний. В результате между этим белком и ДНК возникнет частотно-модулированная связь, которая изменит функцию мембранного белка и, например, восстановит нормальный потенциал за счет закрытия канала для ионов калия. В случае, если нестационарность возникла вследствие эволюции структуры ДНК, изменения частоты, на которой работает связь, приведет к изменению стационарного потенциала, что будет, например, стимулировать поступление веществ в клетку и ее рост.

Радиационно-химический процесс роста липидной мембраны на этапе роста клетки можно представить следующим образом. Известно предположение, что этот процесс связан с участием специальных транспортных белков [10], и известна также динамическая конформационная теория мембран [4,6]. По-видимому, под влиянием квантов излучения ДНК полярные группы молекул, образующих мембрану, разворачиваются (происходит конформация молекул) и локально поляризуют мембрану. Это приводит к локальному изменению ее электрохимических свойств. В частности, это может повлиять на притяжение катионов транспортного белка-альбумина из межклеточной жидкости. Альбумин в свою очередь является переносчиком молекул липидов, пептидов и других строительных элементов клетки. Предполагаемая модель не противоречит существующим моделям физиологии клетки [10], а лишь дополняет их.

На данной стадии работы невозможно описать действительное поведение отдельных молекул в создаваемом ими электромагнитном поле. Можно лишь отметить отдельные общие закономерности и предложить некоторые простые модели.

Колебания молекул не являются произвольными. Они имеют точную собственную частоту, а колебания соседних молекул синхронизированы между собой. Например,

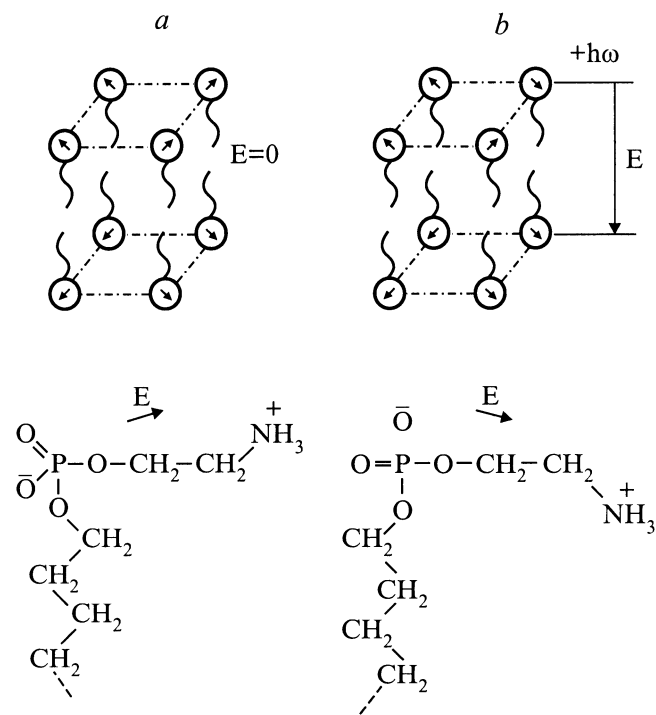


Рис. 2. Наведенная электромагнитным импульсом конформация и поляризация фосфолипидной мембраны (модель).

квантовый импульс, порождаемый группой гуанина ДНК (рис. 1 и 2), находится в определенном фазовом соответствии с колебаниями верхней, нижней и соседних с ними молекулами фосфолипидов мембраны. Элементарная электронейтральная ячейка фосфолипидов состоит из 8 молекул с разным мгновенным направлением и фазой колебаний (рис. 2). Передача энергии этого импульса произойдет к той из этих молекул, которая будет иметь наибольшую разность фаз колебаний с импульсом (фононом или солитоном) в момент их встречи. В результате только одна из молекул изменит свою конфигурацию, что нарушит электронейтральность системы. Например, поменяются местами относительно внешней поверхности мембраны полярные центры фосфолипида: отрицательный фосфатной группы и положительный аминогруппы (рис. 2, b). Это и приведет к локальной поляризации мембраны, которая сохранится в течение времени релаксации возбуждения в химическое взаимодействие или в теплоту.

Данная модель построена по аналогии с конформацией молекул родопсина в фоторецепторе глаза [10,11]. Конформация (изгиб) молекулы родопсина (рис. 3) под действием фотона происходит в неполярной ретинольной части и релаксирует в полярный гликопротеиновый "хвост". Далее образующийся импульс (солитон) распространяется по нервному волокну. Таким образом, данная модель поляризации мембраны квантом излучения применима к различным молекулам в широком диапазоне энергии квантов (от 0.01 до 1 eV).

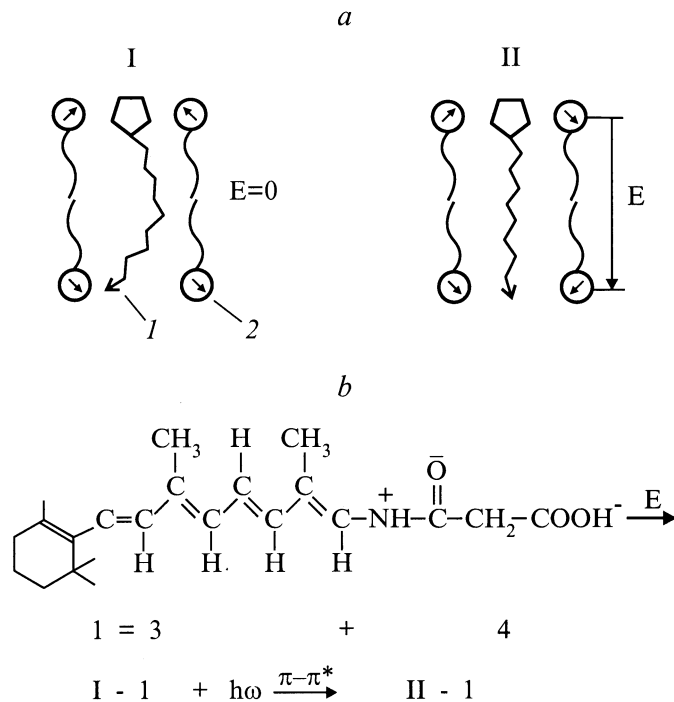


Рис. 3. Наведенная электромагнитным импульсом (фотоном) поляризация мембраны фоторецептора позвоночных (плоская модель). *a* — мембрана: *I* — ЦИС, *1* — родопсин, *2* — липид; *II* — транс; *b* — конформация родопсина: *I* — родопсин, *3* — ретинол, *4* — гликопротеин, *I* — ЦИС, *II* — транс.

Наведенная электромагнитным полем конформация приводит к размерным эффектам (рис. 2, *a*) и тем самым может влиять на динамику диффузии через мембрану как через липидный слой, так и через белковые ионные каналы. Деформация белков под влиянием солитонов изучена А.С. Давыдовым [9].

Следует учитывать также, что сложные молекулы могут релаксировать возбуждение с одних энергетических уровней на другие, т.е. работать как преобразователи частоты в радиоэлектронике (например, родопсин преобразует кванты света с энергией порядка 1 eV в солитоны с энергией порядка 0.01 eV).

После описания локального механизма управления (в системе молекула ДНК–мембранный белок с прилегающими молекулами липидов) вернемся к клетке в целом, состоящей из миллионов молекул. Для эпителиальных клеток почти сферической формы (симметрии) указанный механизм подобен для любого участка мембраны. Однако многие другие клетки имеют вытянутую форму при соотношении длины к диаметру 1000 и более (мышечные и нервные волокна). В этом случае на одно ядро (в волокнах может быть несколько ядер) приходится участок, намного превышающий размер ядра. Поэтому речь идет о радиационном механизме управления ростом трехмерных структур. В случае волокон рост идет преимущественно в направлении длины волокна, при этом волокно играет роль волновода, передающего управляющее воздействие, которое концентрируется в точке роста на конце этого волновода. Таким обра-

зом, растущая клеточная структура способна передавать управляющие воздействия на большие расстояния. Этот факт позволяет проектировать радиационно-химическую технологию синтеза искусственных нейронных сетей.

Выводы (гипотезы)

1. Между молекулами ДНК ядра и молекулами мембраны биоклетки существует связь, осуществляемая электромагнитными волнами субмиллиметрового диапазона, соответствующими вращательным колебаниям молекул.

2. Управление жизнедеятельностью клетки подобно работе генератора с обратной связью, в котором мембранный потенциал является источником питания генератора, а молекула ДНК — элементом, задающим частоту колебаний.

3. Электромагнитные волны — кванты с энергией порядка 0.01 eV поляризуют молекулы полярных диэлектриков, которыми являются белки, липиды и полипептиды клеточной мембраны. Поляризация стимулирует электрохимический и радиационно-химический синтез веществ клетки и ее рост.

4. Радиационно-химическое управление позволяет выращивать трехмерные волокнистые структуры, например нейронные сети, при этом волокна выполняют роль волноводов для управляющих воздействий.

Список литературы

- [1] *Солдатов Е.С.* и др. // УФН. 1998. Т. 168. № 2. С. 217.
- [2] *Ратис Е.Г.* // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 1. С. 122.
- [3] *Бугаенко Л.Т.* и др. Химия высоких энергий. М.: Химия, 1988.
- [4] *Антонов В.Ф.* и др. Биофизика. Изд. 2-е. М.: Арктос-Вика-Пресс, 1996.
- [5] *Орехова В.А.* Медицинская генетика. Минск: Высшая школа, 1997.
- [6] *Волькенштейн М.В.* Биофизика. М.: Наука, 1981.
- [7] *Трублад К.Д.* // Молекулярные структуры / Под ред. А. Доменикано, И. Харгитгаи. Пер. с англ. М.: Мир, 1997. С. 244.
- [8] *Беляков В.А., Сонин А.С.* Оптика холестерических жидких кристаллов. М.: Наука, 1982.
- [9] *Давыдов А.С.* Биология и квантовая механика. Киев: Наукова думка, 1978.
- [10] Физиология человека / Под ред. Р. Шмидта, Ж. Тевса. Пер. с англ. М.: Мир, 1996.
- [11] *Atkins P.W.* Physical Chemistry. 5thEd. Oxford Univ. Press, 1995.