

НАНОМОТОРЫ СО СВЕТОВЫМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Шабловский И. Г.

Забелина И. А. – канд. техн. наук, доцент

Молекулярные моторы – часть биологических систем, управляющая их движением. Они стимулируют компоненты клеток, сами клетки и даже мускулы, получающие соответствующие команды. Традиционно термин «молекулярный двигатель» применяется, при описании органических белковых соединений, однако, в настоящее время его применяют и для обозначения неорганических молекулярных двигателей и используют в качестве обобщающего понятия. Возможность создания молекулярных моторов впервые была озвучена американским физиком Ричардом Фейнманом в 1959 году.

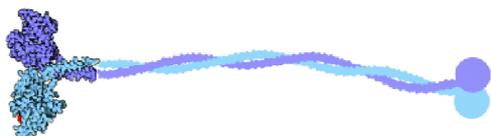


Рис. 1 – Схема молекулы кинезина

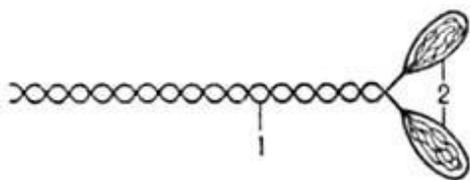


Рис. 2 – Схема молекулы миозина:
1 – фибриллярный стержень; 2 – головки

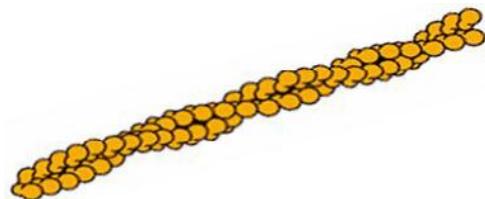


Рис.3 – Протеиновое волокно (микротрубка)
из молекул актина

Современные исследования молекулярных моторов белков, обнаруженных в живых клетках, связаны с их интеграцией в молекулярные моторы, имплантированные в искусственные устройства. Такие двигательные белки способны перемещать «груз» в пределах этого устройства посредством белковой динамики, подобно тому, как кинезин (рис. 1) передвигает различные молекулы по каналам микротрубочек внутри клеток. Запуск и остановка таких моторов белков предполагает удержание АТФ в молекулярных структурах, чувствительных к ультрафиолетовому свету. Импульсы ультрафиолета тем самым обеспечивают импульсы движения. Нано-моторы могут быть сделаны с использованием синтетических материалов и химических методов.

Группа исследователей под руководством Барбары Имперали (Массачусетский технологический институт, Университет Вирджинии, Национальный институт здоровья) разработала протеиновый мотор, работа которого основана на способности миозина (рис. 2) активироваться под воздействием света. Подобная возможность позволит следить за клеточными процессами, включающими участие миозина, в реальном времени. Для того, чтобы мышцы начали сокращаться, необходимо взаимодействие двух видов протеиновых волокон – миозина и актина (рис. 3) [1].

Принцип действия миозина V (используемого в эксперименте) заключался в следующем:

Добавляя в раствор модифицированного миозина V фрагменты микротрубочек (рис. 3), ученые получили несколько комплексов, в которых кусок микротрубочки приклеился только к одной ноге миозина V, а вторая осталась свободной. Эти комплексы сохранили способность «шагать» по актиновым волокнам, и за их движениями

можно наблюдать, поскольку фрагменты микротрубочек гораздо крупнее самого миозина, и помечены флуоресцирующими метками. При этом использовались два экспериментальных дизайна: в одном случае фиксировалось в пространстве актиновое волокно и наблюдения проводились за движением фрагмента микротрубочки, во втором – фиксировалась микротрубочка и наблюдалось движение фрагмента актинового волокна.

В итоге «походка» миозина выглядела следующим образом: каждый шаг начинается с того, что «задняя» нога миозина отделяется от актинового волокна. Затем та нога, которая осталась прикрепленной к во-

локну, резко наклоняется вперед. Именно в этот момент расходуется энергия (происходит гидролиз АТФ). После этого «свободная» нога (на рисунках – зеленая) начинает хаотически болтаться на шарнире. Это не что иное, как броуновское движение. Рано или поздно зеленая нога касается своим концом актиновой нити и прикрепляется к ней. Место, где она прикрепится к нити (и, следовательно, длина шага) полностью определяются фиксированным наклоном синей ноги (рис. 4, 5) [2].

В результате расщепления клеточного топлива, в роли которого выступает аденозинтрифосфат, к миозиновым молекулам добавляются «кнопки», позволяющие им взаимодействовать с волокнами актина. В клетках, которые не относятся к мускульным, миозин необходим для сокращения самих клеток в процессе их деления. В состав миозина входят несколько различных протеиновых цепей. Активность немускульного миозина регулируется через управляющую световую цепочку. Как только фосфатная группа присоединяется к определенному участку цепочки, миозин активизируется. Эта активность усиливается в результате присоединения второй фосфатной группы на соседнем участке цепи.

Исследования миозина проводятся достаточно давно. Однако, до сих пор не представлялось возможным выяснить, что же конкретно происходит в клетке после того, как молекула активизируется, как в пространственном, так и во временном отношении. Исследователям удалось найти возможность вести наблюдения в реальном времени: молекулу миозина можно запустить, воздействуя на нее светом. Чтобы получить подобный результат, исследователи использовали метод протеинового синтеза, для получения искусственной регулирующей цепи. Эта цепь уже содержит в своем составе одну или две фосфатных группы. При этом одна из фосфатных групп заключается в своеобразную «клетку». Благодаря этому, цепь остается неактивной, а облучение светом заставляет эту «клетку» отсоединиться, включить в работу регуляторную цепь и активировать миозин. Исследователи заменили естественную световую цепочку молекулы миозина искусственной, и внедрили этот активируемый светом миозин в клетки. Облучение активирует его в заранее определенном месте, в заранее заданное время. Это позволяет предположить возможность наблюдений за клеткой в реальном времени после активизации миозина [1].

Таким образом, в результате проведенных исследований, был разработан протеиновый мотор, работу которого можно будет наблюдать в режиме реального времени, благодаря его активации под воздействием света. Полученные результаты значительно упростят и сделают более продуктивными исследования и разработки в области нанотехнологий.

Список использованных источников:

1. Light-Triggered Myosin Activation for Probing Dynamic Cellular Processes/ B. N. Goguen [et al.] // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2011. – Vol. 50, Iss. 25. – P. 5667-5670.
2. Katsuyuki, S. Myosin V Walks by Lever Action and Brownian Motion / S. Katsuyuki, K. Kazuhiko // *Science*. – 2007. – Vol. 316, № 5828. – P. 1208-1212.

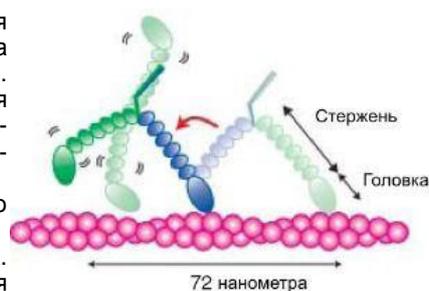


Рис. 4 – Движение миозина по актиновой нити

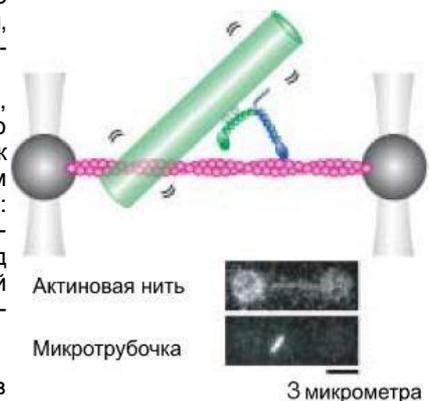


Рис. 5 – Схема эксперимента