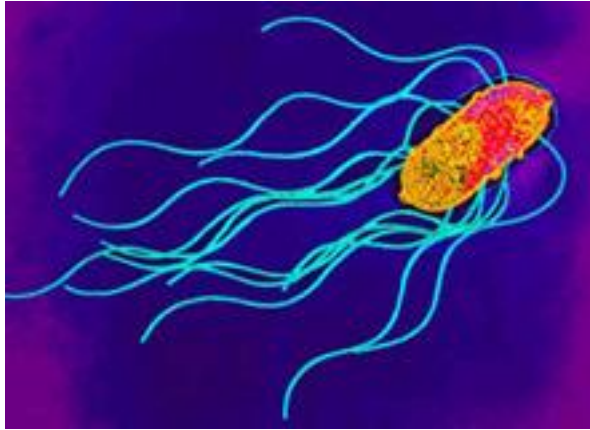


Передвижение бактерий

В научной работе огромное количество времени уходит на чтение различных текстов: научных статей, монографий, учебников, руководств к приборам и т.д. И каждый раз очень важно отделить важное от неважного и уметь выделить главное. Вашему вниманию предлагается научно-популярный текст. В конце текста есть несколько вопросов. Постарайтесь внимательно ответить на эти вопросы, используя только материал прочитанного текста.



Бактерии способны передвигаться в жидкости, используя много механизмов, таких как жгутики, изменения поверхностного натяжения, изменения плавучести, полимеризацию актина, который окружает их, и множество еще неизвестных механизмов.

Бактериальные жгутики отличаются от жгутиков эукариот. Жгутики прокариот и эукариот принципиально различаются: бактериальный жгутик имеет толщину 10—20 нм и длину 3—15 мкм, он пассивно вращается расположенным в мембране мотором; жгутики же эукариот толщиной до 200 нм и длиной до 200 мкм, они могут самостоятельно изгибаться по всей длине. Жгутик бактерий состоит из трех частей: филамента (собственно нити), крюка и базального тела. Каждая из этих частей сложена из белков. Белки, образующие филамент, называют флагоеллинами (от латинского слова *flagellum* — жгутик). Флагоеллины складываются в нить, которая с помощью крюка крепится к базальному телу. Базальное тело прочно заякорено в клеточной оболочке и может свободно вращаться по или против часовой стрелки. Базальное тело преобразует химическую энергию в работу, вращаясь за счёт градиента концентрации протонов, таким образом, являясь трансмембранным мотором. Например, для *Escherichia coli* (кишечной палочки) на один оборот жгутика требуется перемещение около 1000 протонов, при этом скорость вращения одного жгутика около 2400 об./мин.

Плавание — это самый быстрый способ передвижения. Скорость движения бактерий при помощи жгутиков составляет от 20 до 200 мкм/с (для штаммов *Escherichia coli*, имеющих жгутик, — 30 мкм/с). Бактерии, не использующие жгутик при передвижении, таких скоростей развить не могут. Например, скорость движения *Cytophaga-Flexibacter-Bacteriodes* порядка 2—4 мкм/с. У *Mycoplasma mobile* она достигает 4,5 мкм/с, у нитчатых синезеленых водорослей (цианобактерий) 10 мкм/с. А скорость *Mycoplasma gallisepticum* — всего 0,1 мкм/с.

У некоторых бактерий жгутики расположены по всей поверхности клеточной стенки (например, у бактерий рода *Proteus*), такие бактерии известны как перитрихи [от греч. *peri* - вокруг, *trichos* - волос]. Некоторые бактерии снабжены только одним толстым жгутиком (например, представители рода *Vibrio*), они известны как монотрихи. Политрихи — бактерии, имеющие одиночный по виду жгутик, образованный пучком из 2-50 жгутиков (например, у кишечной палочки, как правило, 5 жгутиков).

Бактерия может менять направление движения, изменяя направление вращения базального тела: вращение базального тела по часовой стрелке толкает клетку в направлении от жгутика, а биения против часовой стрелки тянут клетку вслед

за жгутиком. Изменение направления движения сопровождается тамблингом (дрожанием), во время которого бактерия некоторое время не совершает поступательных движений.

Как мы видим, бактериальные жгутики – это удивительные по строению и свойствам аппараты. Как это часто бывает, ученые черпают свое вдохновение у природы, что является основой такого направления в науке как бионика. Так, жгутики бактерий вдохновили швейцарско-японский коллектив ученых на создание некоторого аналога бактериального жгутика с держателем на конце, способного транспортировать лекарственные препараты внутри организма.

Благодаря использованию прямой лазерной записи изображения (DLS) на поверхности фоторезиста (полимерного фоточувствительного материала), с последующим удалением неполимеризованных участков и нанесением слоев никеля и титана методом нанесения из газовой фазы (PVD), авторам удалось получить хорошо воспроизводимые "наноштыпоры" необходимой формы.

В отличие от бактериальных жгутиков, которые перемещают бактерию из области с меньшей концентрацией питательных веществ в область с большей концентрацией, движущей силой для полученных "наноштыпов" является внешнее магнитное поле - статическое и вращающееся, причем в случае статического поля направление движения существенно зависит от угла подъема винтовой линии "наноштыпора" (практически сонаправлено при угле подъема 45 градусов и практически перпендикулярно при 75 градусах). В случае приложения переменного поля ситуация несколько сложнее. При низких частотах наблюдается так называемое дрожание (тамблинг). Тамблинг также характерен для бактерий, когда им необходимо поменять направление своего движения, и занимает около 0,1 с. При увеличении частоты внешнего поля возникает момент, индуцирующий винтовое движение.

Для наглядной демонстрации транспортных возможностей предложенного "наноштыпора", авторами был проведен очень красивый эксперимент. В начале штыпор,двигающийся в деионизированной воде, захватывает микрошарик полистирола (диаметром 6 мкм), который затем толкает по заданному маршруту, причем на пути следования штыпора находится существенная ступенька. Несмотря на это препятствие, груз остается в держателе и по достижении цели высвобождается простым изменением направления движения штыпора.

Вопросы к тексту:

- 1) Какие механизмы передвижения бактерий упомянуты в тексте? (несколько вариантов ответа)
 - а) с помощью жгутиков
 - б) скольжением
 - в) изменением поверхностного натяжения
 - г) реактивным движением
 - д) с помощью полимеризации актина
- 2) Во сколько раз скорость передвижения самой быстрой жгутиковой бактерии больше, чем скорость передвижения самой медленной безжгутиковой?
 - а) в 2 раза
 - б) в 20 раз
 - г) в 200 раз
 - д) в 2000 раз
- 3) К какому направлению науки можно отнести разработку швейцарско-японского коллектива ученых?

- а) к нанотехнологиям
- б) к биотехнологиям
- в) к бионике
- г) к электронике

4) При каких значениях переменного магнитного поля созданный учеными «наноштопор» переставал направленно двигаться?

- а) при низких
- б) при высоких
- в) при частотах ниже 140 Гц
- г) ни при каких

5) Почему белок, образующий филамент жгутика, называется флагеллин?

6) Какие бактерии легко принять за растения?

7) Для каких целей ученые создали «наноштопор»?

8) Как исследователи собираются контролировать движение созданного аппарата?

9) Кишечная палочка проделала путь 30 мкм в жидкой среде в одном направлении, после чего поменяла направление на противоположное и продвинулась еще на 90 мкм. Учитывая материал текста, ответьте на вопросы. Сколько времени она затратила на весь процесс? Сколько протонов было потрачено на движение?

10) Какие выражения истинны (И), какие ложны (Л), какие не указаны (НУ) в тексте. При затруднениях – вновь обратитесь к тексту.

- а) Существует множество механизмов перемещения бактерий, однако скольжение – наиболее загадочный тип перемещения бактерий.
- б) Скорость движения бактерий при помощи жгутиков для разных бактерий может отличаться на порядок.
- в) представители рода *Vibrio* обладают 1 жгутиком, представляющим собой пучок из 5-6 более мелких жгутиков.
- г) В экспериментах по управлению движением искусственного «наноштопора» использовали статическое и вращающееся магнитное поле.
- д) Высвобождение «груза», который переносит «наноштопор», происходит за счет изменения направления его движения.

11) Творческое задание.

Отвлечемся, наконец, от текста и подумаем. На какие еще изобретения может вдохновить нас природа? Предложите свою идею (идеи).

Оценка за задание – 11 баллов

Ответы:

1) а, в, д

2) д

3) в

4) а

5) Потому что слово происходит от латинского *flagellum* – жгутик.

6) Цианобактерии (об этом говорит само название - синезеленые водоросли).

7) Для транспортировки лекарственных препаратов внутри организма.

8) С помощью магнитного поля.

9)

Дано:

скорость движения 30 мкм/с

На 1 оборот уходит 1000 протонов (N)

количество жгутиков (L) – 5 штук

t_T (тамблинга) – 0,1 с

скорость вращения жгутика (V) = $[2400 \text{ (об/мин)} / 60 \text{ (с/мин)}] = 40 \text{ об/с}$

Решение:

1) $S = 30 + 90 = 120 \text{ (мкм)}$ – путь кишечной палочки

2) $t = 120 \text{ (мкм)} / 30 \text{ (мкм/с)} = 4 \text{ (с)}$ – время движения

3) $t_{\text{общее}} = t + t_T = 4 + 0,1 = 4,1 \text{ (с)}$ – время, затраченное на весь процесс с учетом тамблинга

4) $V * t * L * N = 40 \text{ об/с} * 4 \text{ (с)} * 5 \text{ (жгутиков)} * 1000 \text{ (протонов/об)} = 800\,000 \text{ (протонов)}$ – было потрачено на движение.

Ответ: было потрачено 4,1 с и 800000 протонов.

10)

а) НУ

б) И

в) Л

г) И

д) И