Защитные и двигательные структуры клетки

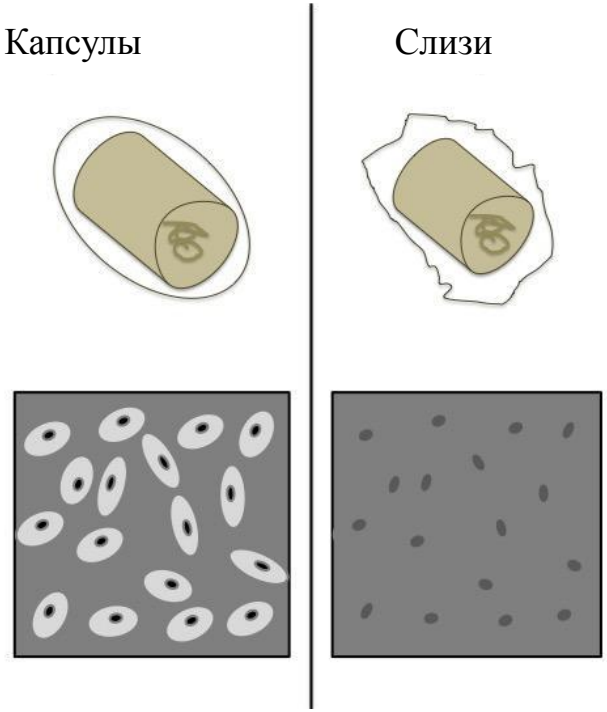
Цитология микроорганизмов

Внешние гидратированные слои клеток

По структуре:

1) Прочно связаны с клеточной стенкой:
   - Капсулы
   - Чехлы (структурированы)

2) Легко отделяются от клеточной стенки:
   - Слизи
   - Межклеточный матрикс

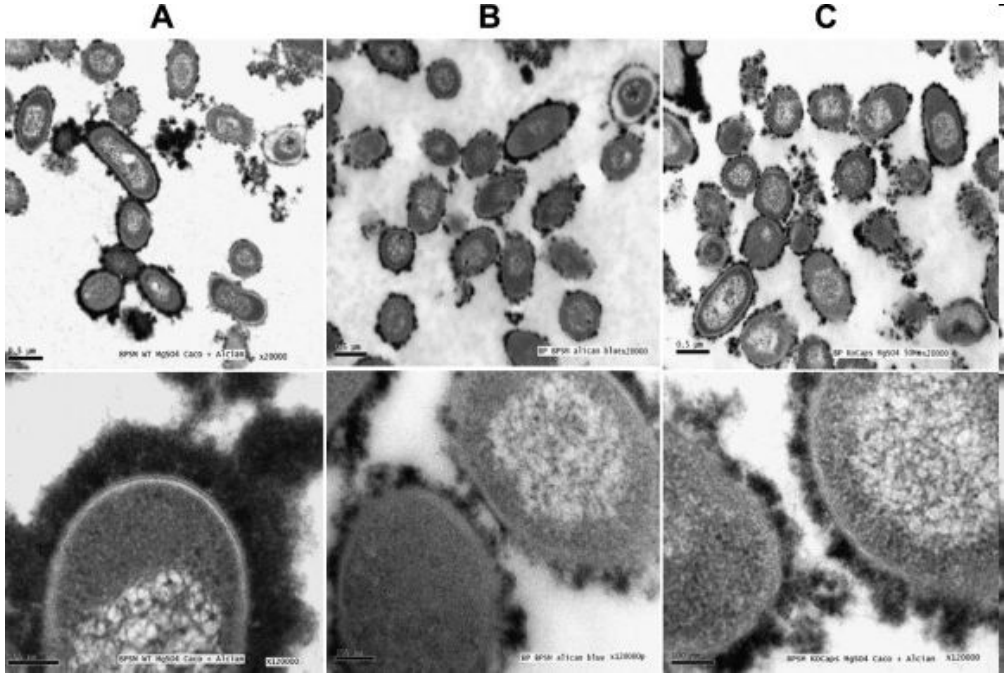


По синтезу:

1) Путем переноса мономерных молекул на внешнюю сторону клеточной стенки с использованием ундекапренилфосфата и энергии УТФ (по аналогии с синтезом пептидогликана).

2) Путем секреции во внешнюю срезу ферментов, осуществляющих полимеризацию присутствующих там дисахаридов с образованием декстранов или ливанов.

Капсулы бактерий

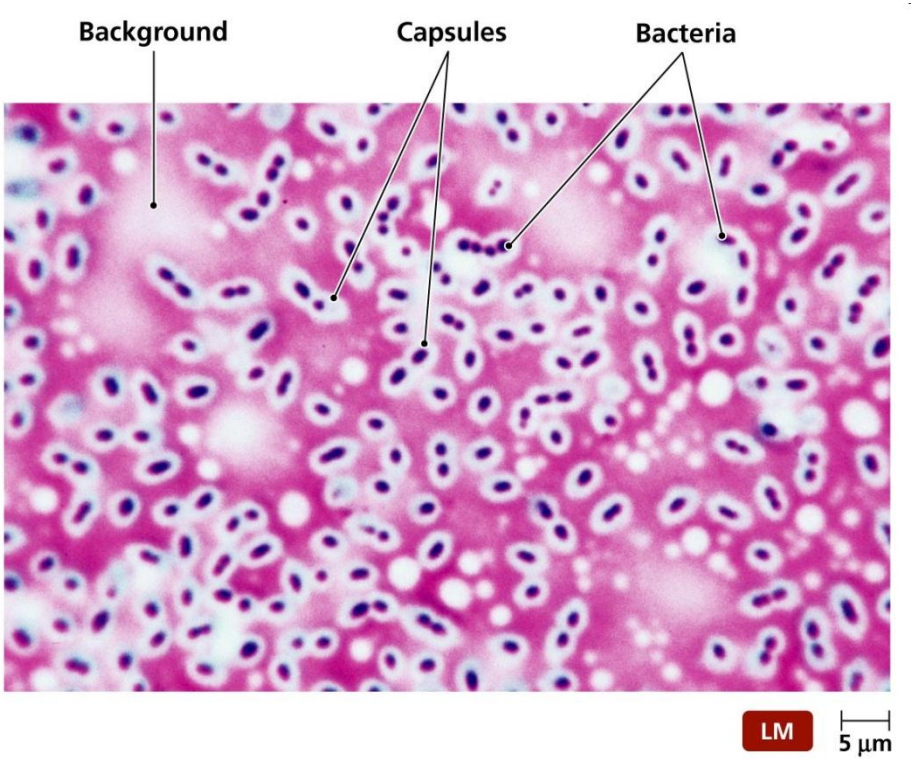


Визуализация полисахаридной капсулы *Bordetella pertussis* с помощью просвечивающей электронной микроскопии

Капсулы – это слизистая структура, прочно связанная с клеточной стенкой бактерий и имеющая чётко очерченные внешние границы

Капсулы относят к группе К-антигенов, являющихся важным фактором вирулентности бактерий (например, для *Streptococcus pneumoniae, Haemophilus influenzae, Neisseria meningitidis, Klebsiella pneumoniae*). Безкапсульные мутанты этих видов бактерий авирулентны.

Капсулы бактерий в световом микроскопе



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Окраска капсул реализована путем сочетания негативного и позитивного методов окрашивания (например, по Бурри-Гинсу)

Микрокапсула – толщина менее 200 нм

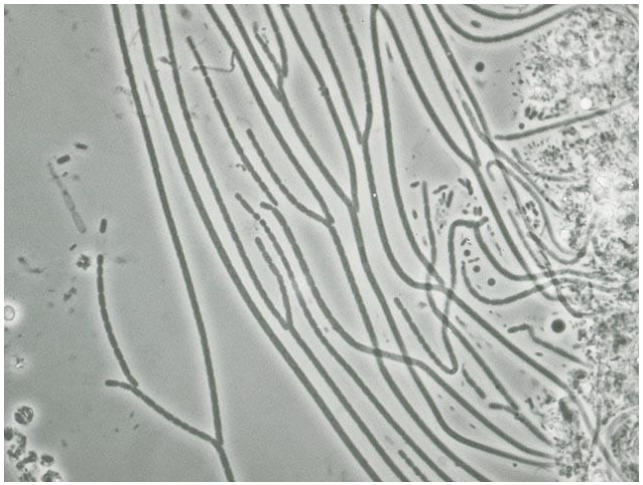
Макрокапсула – толщина более 200 нм

Химический состав гидратированных слоев бактерий

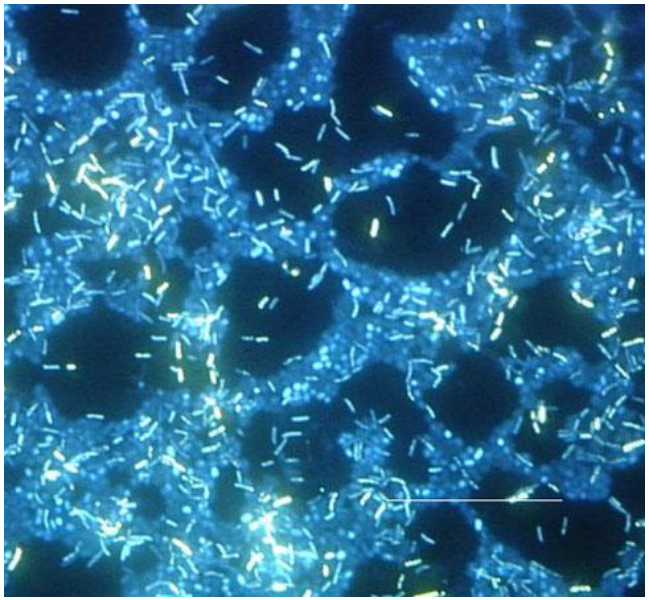
Вид бактерий	Состав капсулы	Структурные мономеры
Грамположительные		
Bacillus anthracis	Полипептид	Глутаминовая кислота
Bacillus megaterium	Полипептид и полисахарид	Глутаминовая кислота, аминосахара, сахара
Streptococcus mutans	Полисахарид	Глюкоза (декстран)
Streptococcus pneumoniae	Полисахарид	Сахара, аминосахара, уроновые кислоты
Streptococcus pyogenes	Полисахарид	Ацетилглюкозамин и глюкуроновая кислота
Грамотрицательные		
Acetobacter xylinum	Полисахарид	Глюкоза (целлюлоза)
Escherichia coli	Полисахарид	Глюкоза, галактоза, фукоза, глюкуроновая кислота
Pseudomonas aeruginosa	Полисахарид	Маннуроновая кислота
Azotobacter vinelandii	Полисахарид	Глюкуроновая кислота
Agrobacterium tumefaciens	Полисахарид	Глюкоза (глюкан)

Химический состав гидратированных слоев бактерий

Чехлы обычно имеют и более сложный химический состав. В частности, чехол *Sphaerotilus natans* содержит 36% сахаров, 11% гексозамина, 27% белков, 5,2% липидов и 0,5% фосфора. Кроме того, чехлы ряда бактерий, метаболизм которых связан с использованием различных металлов, часто инкрустированы их окислами (например, оксидами железа или марганца)



Слизи формируются из неспецифичных компонентов. Бактерия *Leuconostoc mesenteroides* быстро превращает раствор сахарозы в 1,6-α-глюкан, параллельные цепочки которого связываются в единую трехмерную сеть. Еще одним примером являются *Streptococcus mutans* и *Streptococcus salivarius*, выделяющие другую гексозилтрансферазу, превращающую сахарозу в полифруктозы (леваны).



Роль гидратированных слоев бактерий

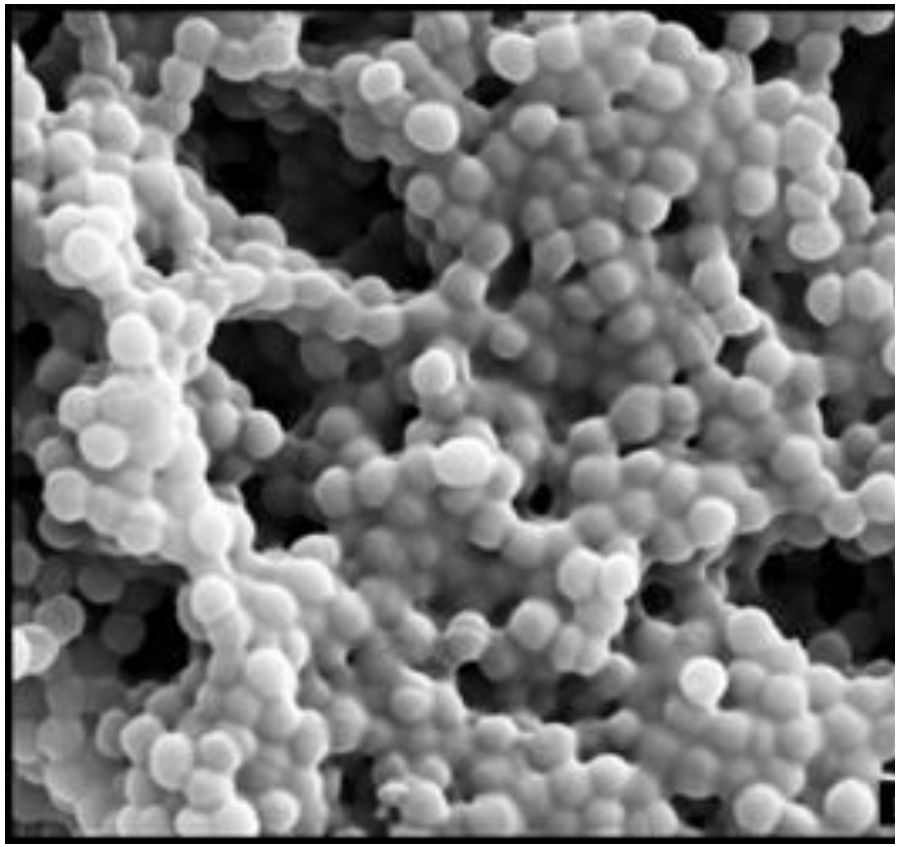
Наиболее универсальной из них является **защита бактериальной клетки** от **высыхания и механических** повреждений, а также формирование дополнительного **осмотического барьера** между клеткой и внешней средой. Наличие данных структур может сообщать образующим их бактериям **способность к прикреплению** к различным поверхностям. Кроме того, образование слизи считается свойством, достаточно общим для всех скользящих прокариот и в определенных условиях облегчающим **отталкивание клетки** от твердого субстрата.

Описана и роль поверхностных структур прокариот в их защите от ряда биологических факторов. В частности, капсулы и слизи многих бактерий могут служить **препятствием для адсорбции** на их поверхности **бактериофагов**.

Обладание капсулой также сообщает некоторым патогенным бактериям **устойчивость к фагоцитозу**, что объясняется нарушением процесса опсонизации клеточной поверхности сывороточными факторами или формированием эффекта электростатического отталкивания между бактерией и фагоцитирующей клеткой.

Новая волна интереса к поверхностно расположенным биополимерным материалам прокариот обусловлена их ролью в **обеспечении связи между отдельными клетками** и **формировании упорядоченной структуры** микробных популяций.

Биопленка

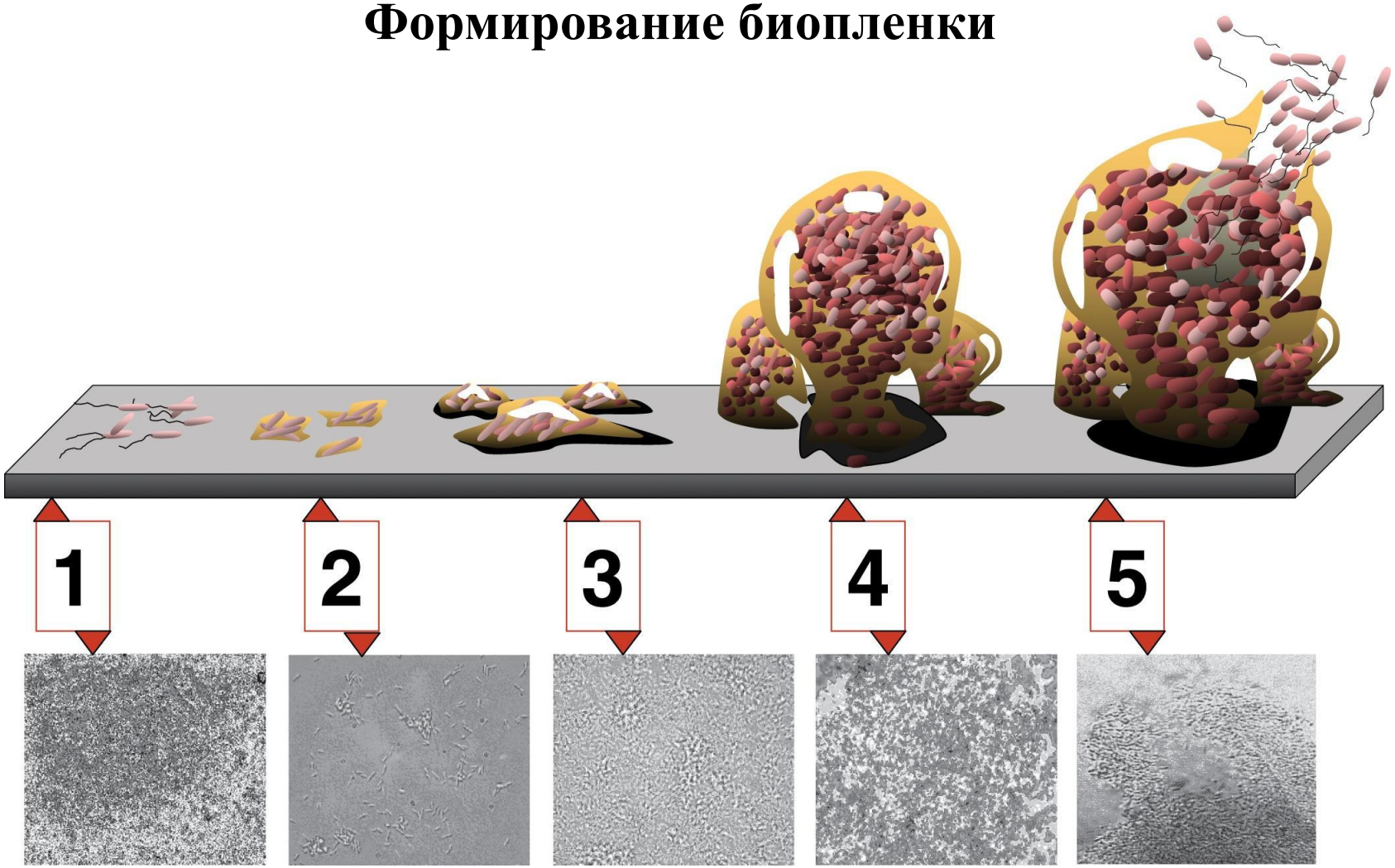


Это упорядоченное **сообщество микроорганизмов**, объединенных с помощью капсул и прикрепленных к живой или инертной поверхности.

Свойства:

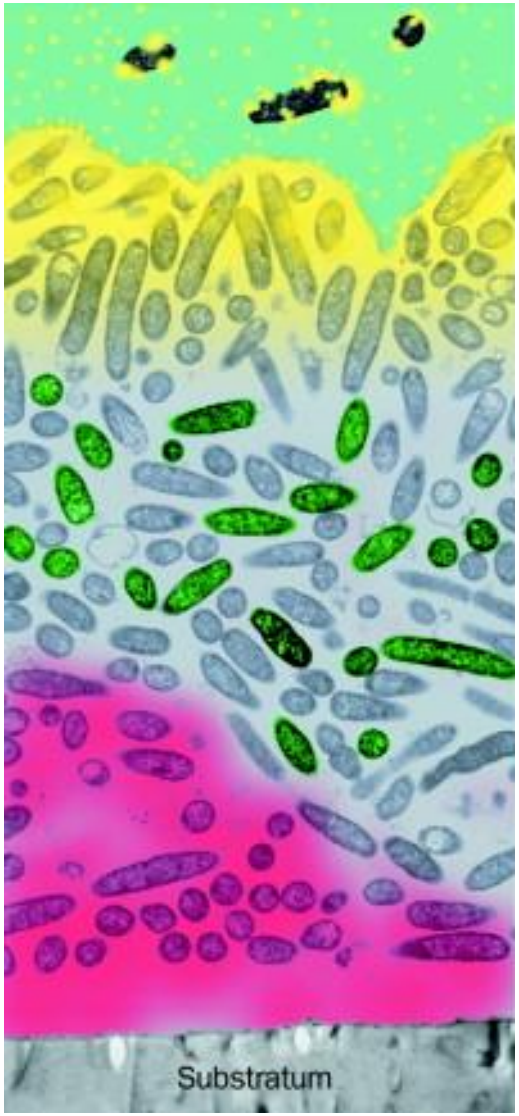
- структурная разнородность
- генетическое разнообразие
- сложные межклеточные взаимодействия
- наличие внеклеточного матрикса.

Формирование биопленки



1 – адгезия на поверхности; 2 – накопление экзополисахарида; 3 – активация чувства кворума; 4 – созревание биопленки; 5 – расселение биопленки.

Свойства бактерий в биопленке



Замедленная диффузия

Антибиотики с трудом проникают в глубинные слои биопленки и задерживаются на поверхности

Устойчивый фенотип

Некоторые бактерии дифференцируются в фенотипические формы, проявляющие повышенную устойчивость к внешним воздействиям

Альтернативное микроокружение

В глубинных слоях меняется состав среды, что обеспечивает более высокую выживаемость бактерий и антагонизм к антибиотикам

Пили прокариотической клетки

Белковые цилиндры длиной 1-1,5 мкм и диаметром 7-10 нм

Виды:

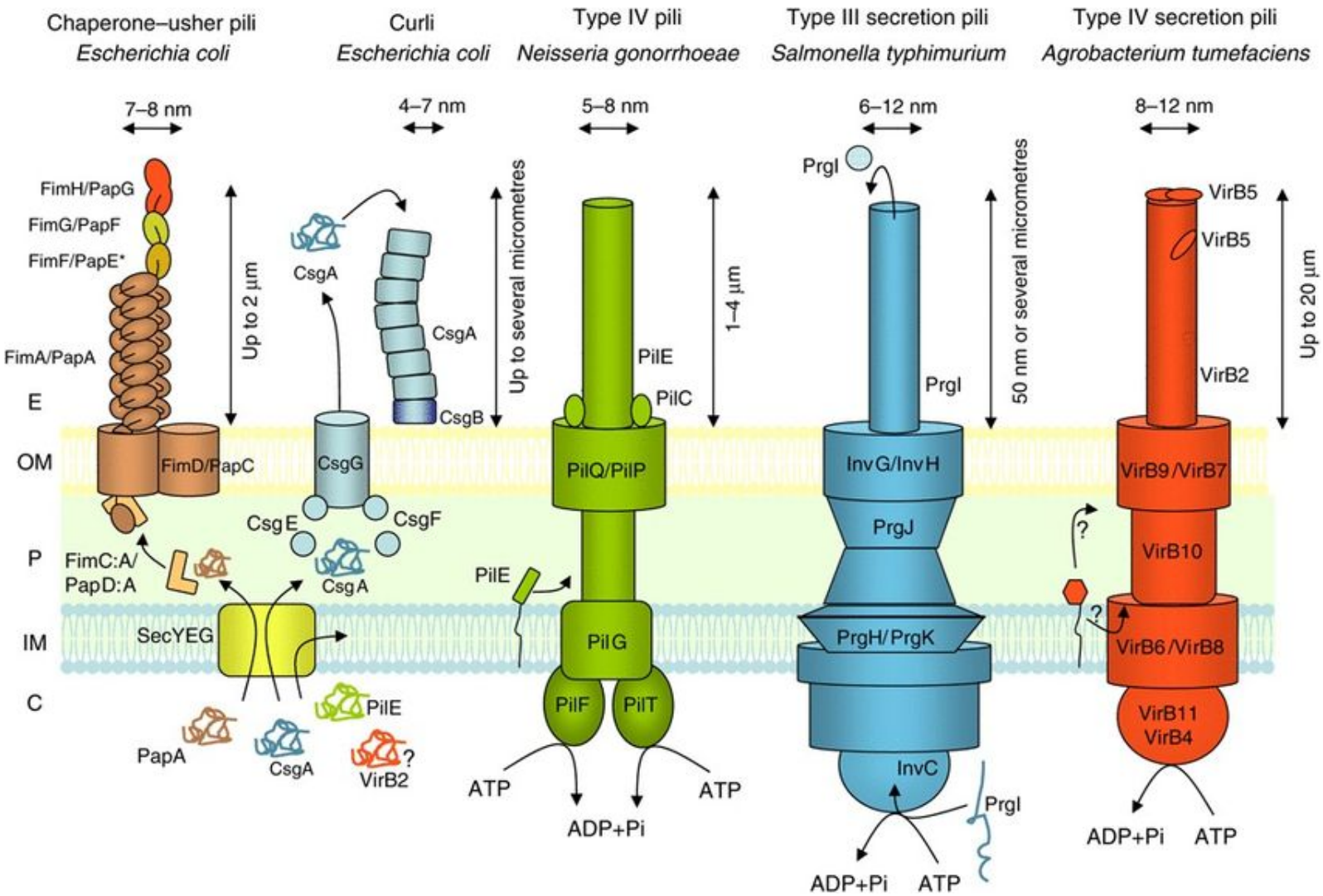
1) Пили общего типа (отвечают за адгезию и взаимодействие с поверхностями).

   Адгезивность пилей зависит от гидрофобности образующего их белка пилина, а их количество от характера среды культивирования;

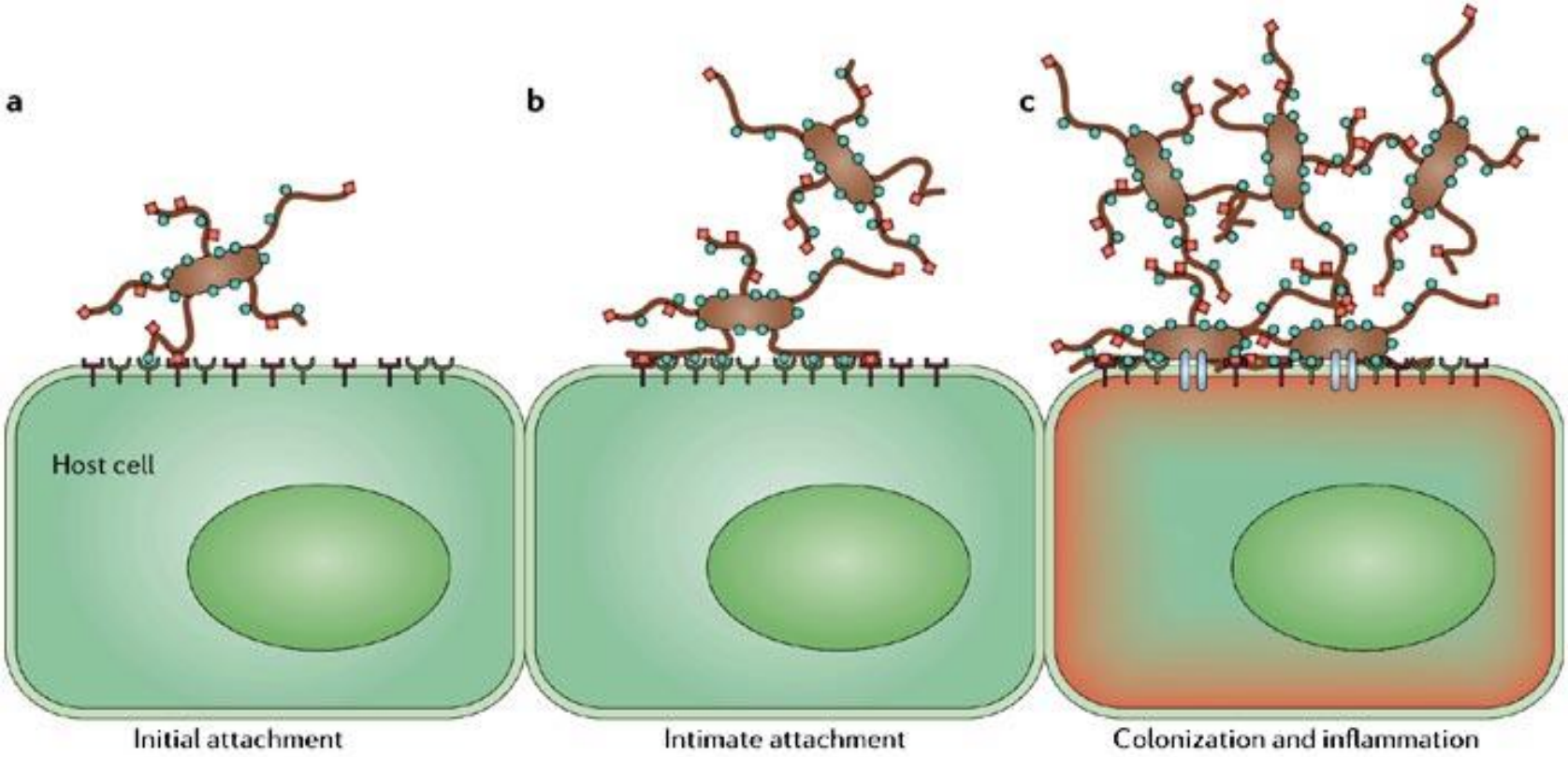
2) Половые (F) пили (отвечают за передачу генетической информации между клетками.

   Обеспечивается наличием фактора трансмиссивности, который либо является автономным репликоном (F-фактор), либо входит в состав автономного репликона, либо интегрирован с бактериальной хромосомой.

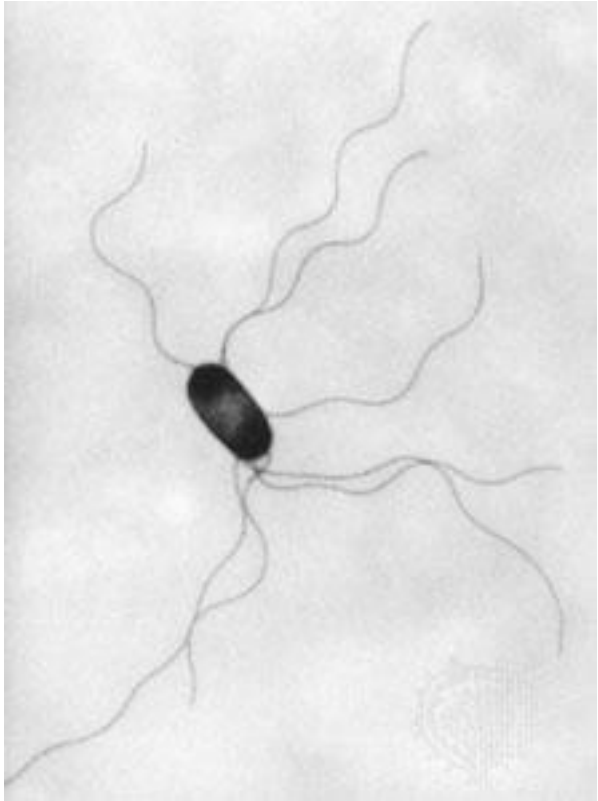
Пили грамотрицательных бактерий

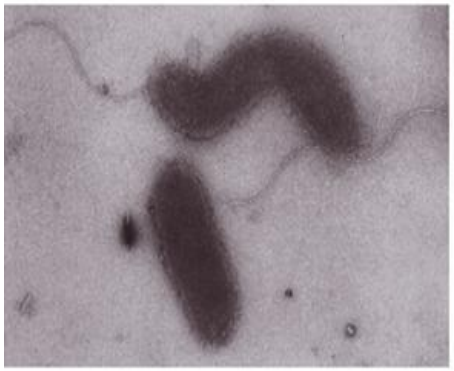


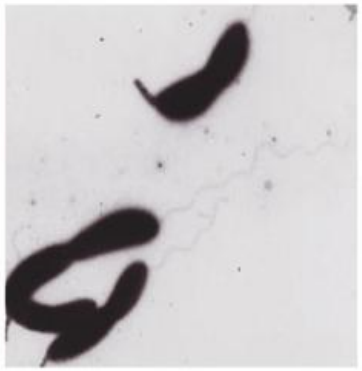
Механизм адгезии бактерий

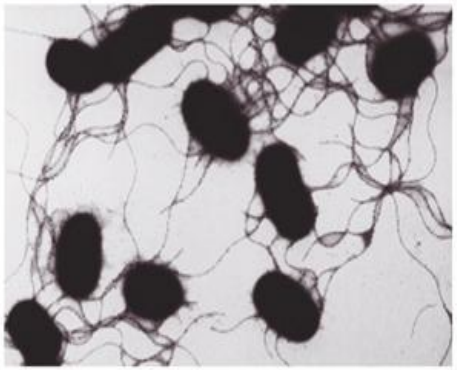


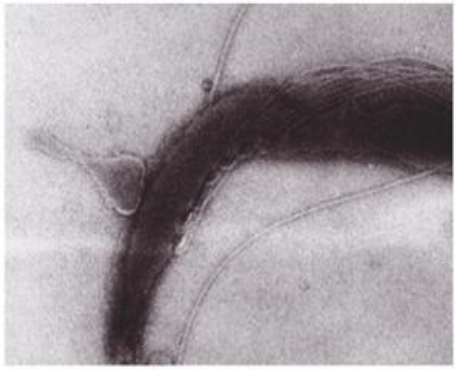
Жгутики прокариотической клетки











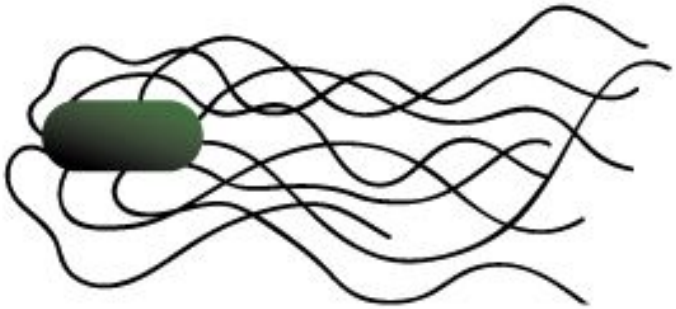
Расположение жгутиков у бактерий

Монотрихи
Vibrio, Caulobacter

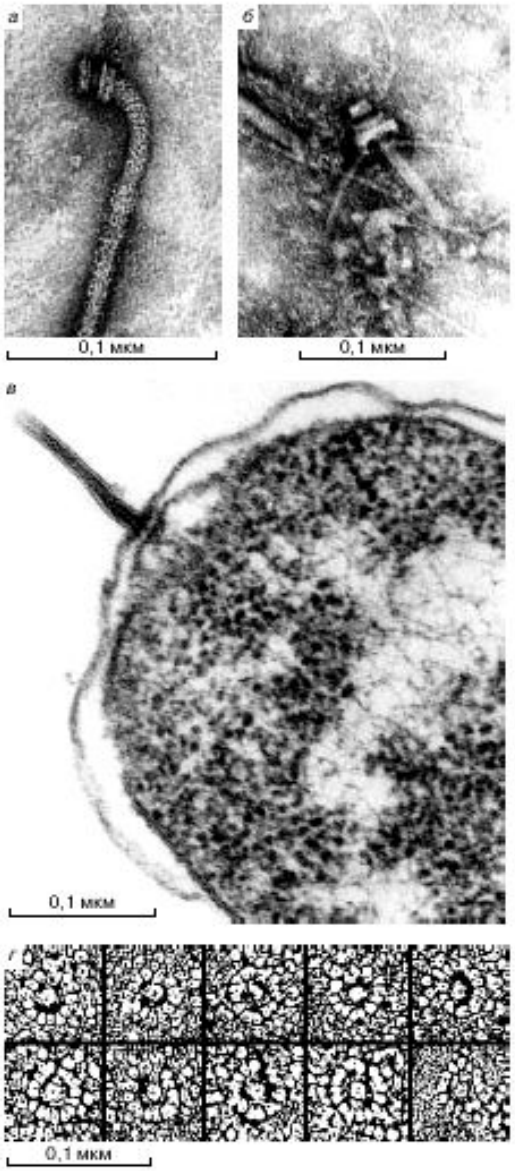
Лофотрихи
Pseudomonas, Chromatium

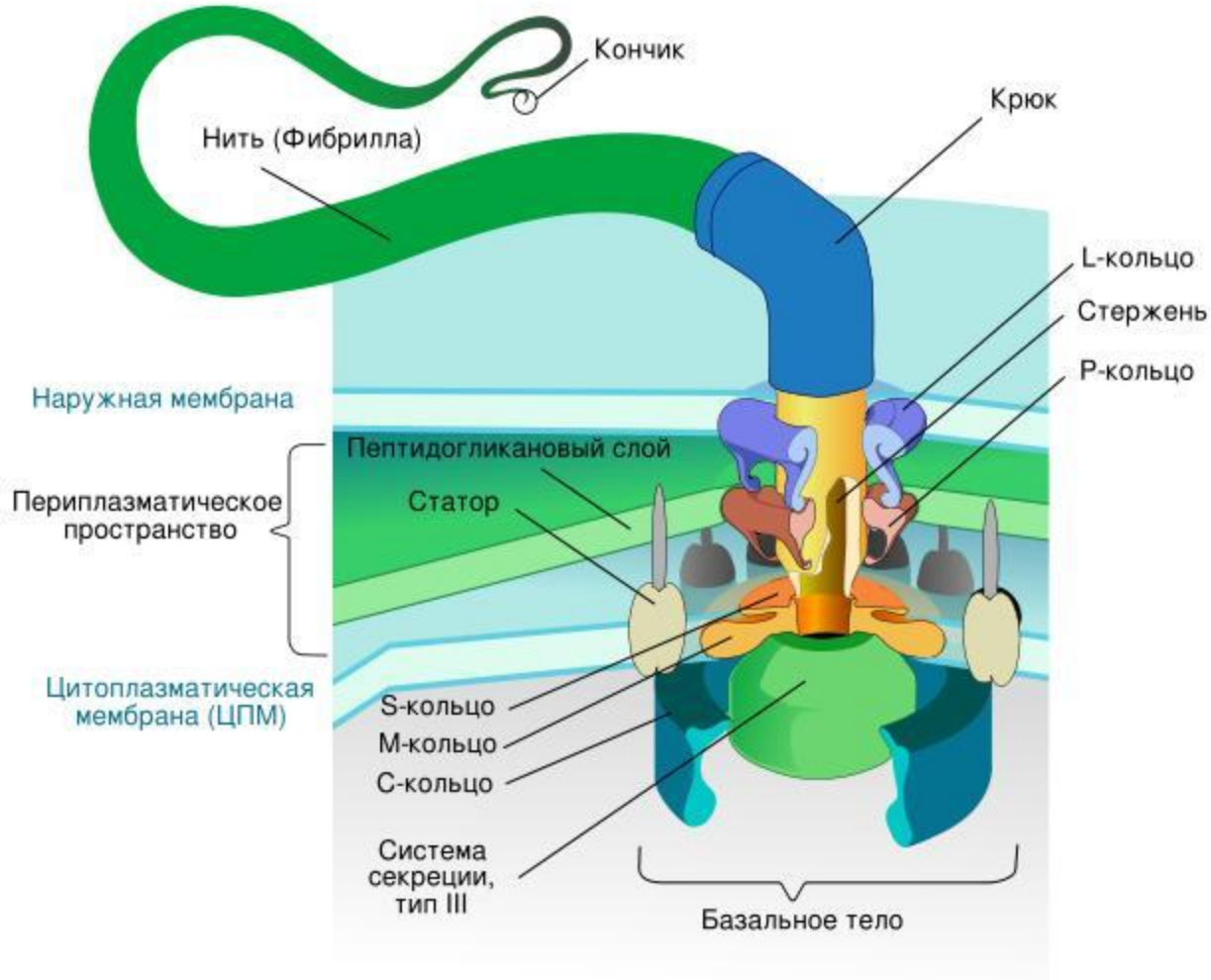
Амфитрихи
Spirillum

Перитрихи
Escherichia, Proteus



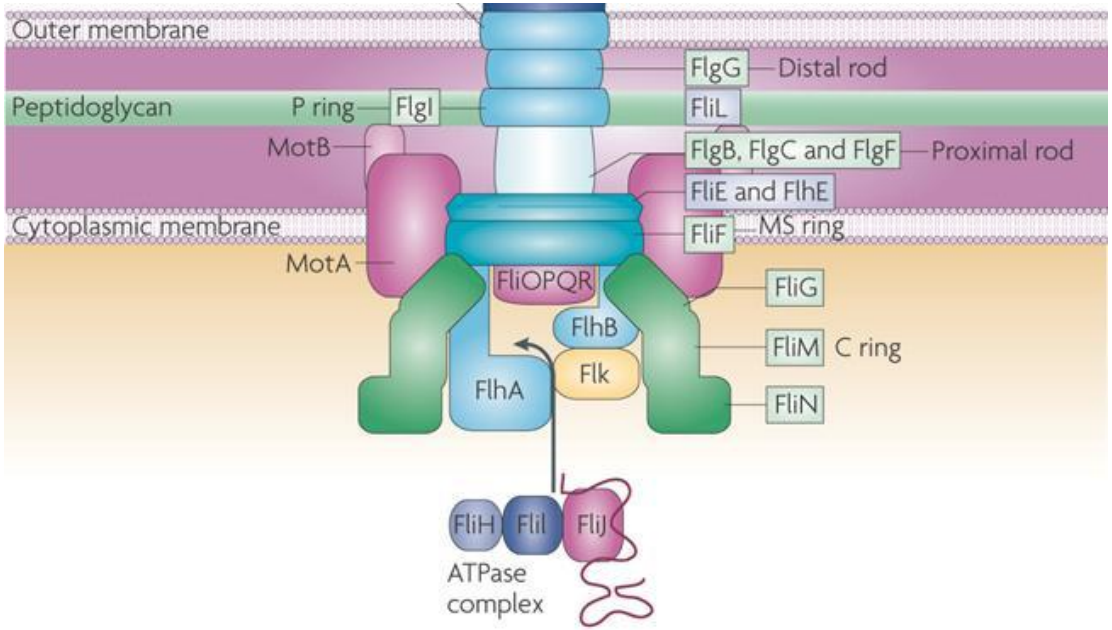
Строение жгутика у бактерий





а - жгутик с базальным телом, полученный из кишечной палочки; б - то же, из морского вибриона; в - срез через клетку морского вибриона; г - скол, прошедший по внешней поверхности внутренней мембраны стрептококка в область базального тела. Приведены микрофотографии десяти базальных тел

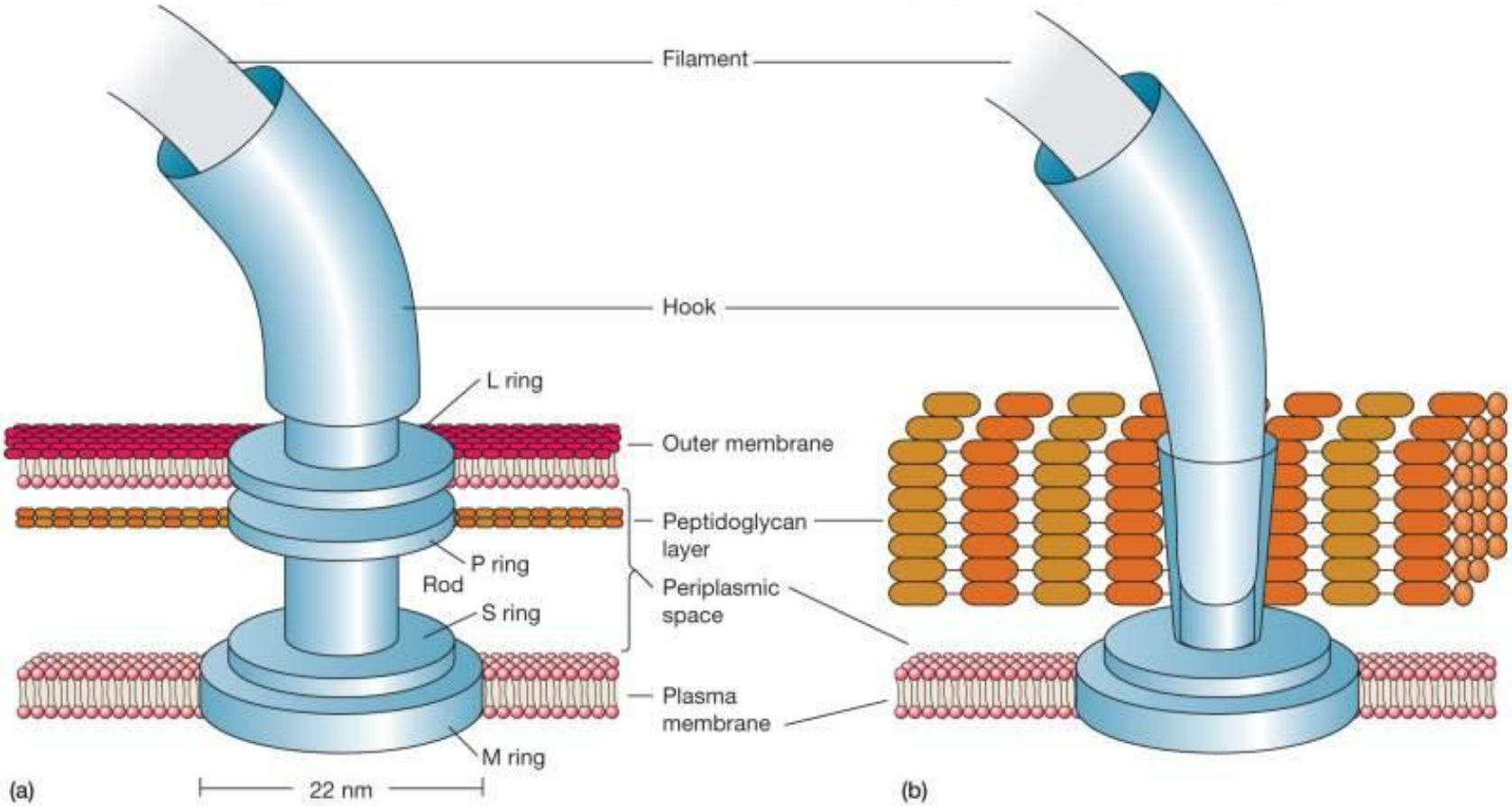
Схема строения базального тела (на примере грамотрицательных бактерий)



Компоненты базального тела:

1) стержень, стыкующийся с крюком;
2) нанизанные на стержень соосные диски M и S (MS-кольцо);
3) группа белковых комплексов (от 10 до 16 в зависимости от вида бактерий), окружающих MS-кольцо;
4) цитоплазматический фрагмент, утопленный в цитозоле (C-кольцо).

Особенности структуры базального тела грамотрицательных (a) и грамположительных (b) бактерий



Принцип работы жгутика бактерий

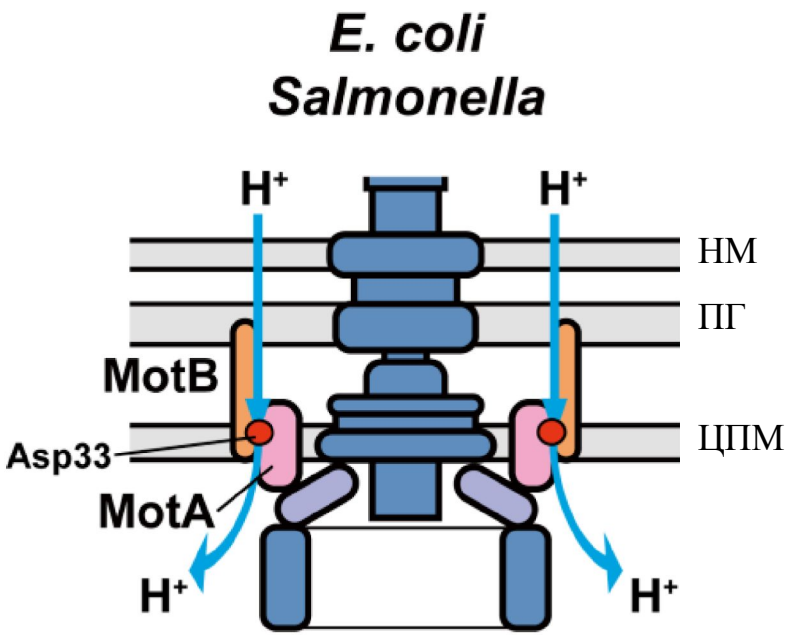
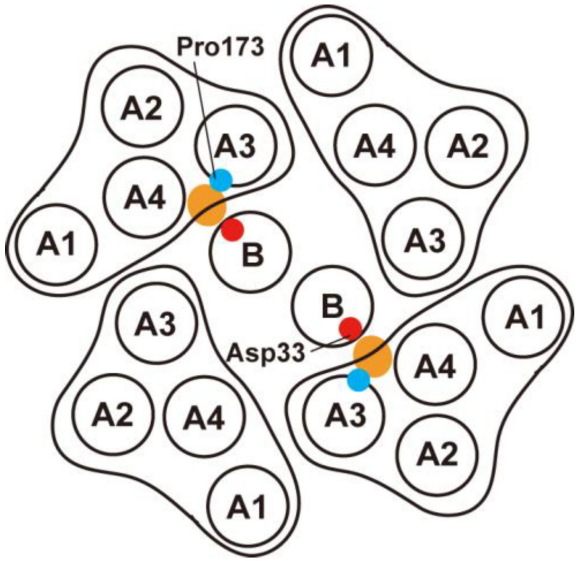
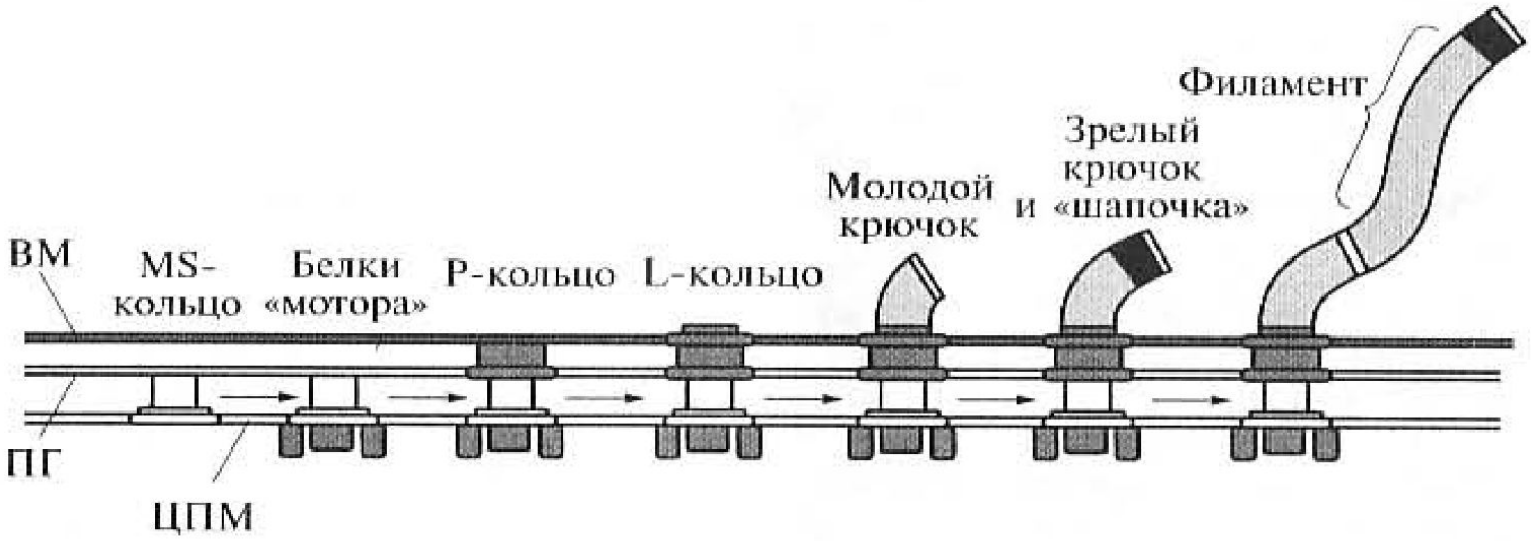


Схема расположения белков статора (MotA/MotB) вокруг белков ротора (MS- и C-кольцо)

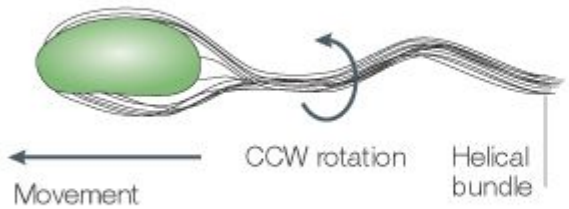


Устройство трансмембранных сегментов комплекса MotA/B, который состоит из четырех копий MotA и двух копий MotB (вид из периплазматического пространства). Комплекс имеет два протонопроводящих пути, показанный оранжевыми кругами.

Схема синтеза жгутика у бактерий

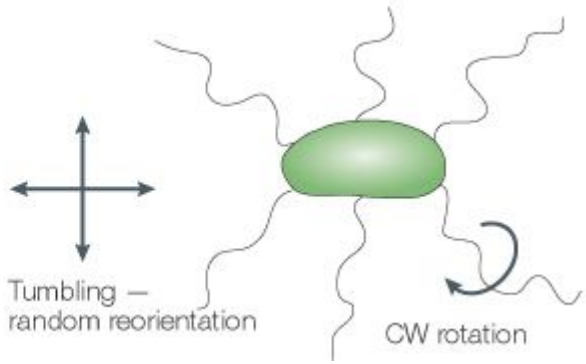


Движение бактерий



Скорость перемещения : **20-80 мкм/с**
Время пробега: **1-3 с**

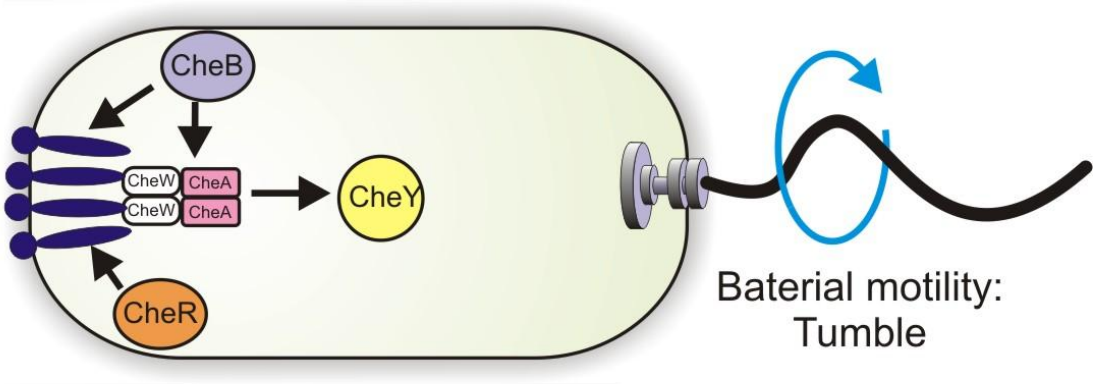
Пробег: Вращение жгутиков против часовой стрелки, образование единого жгута (у перитрихий), движение вперед



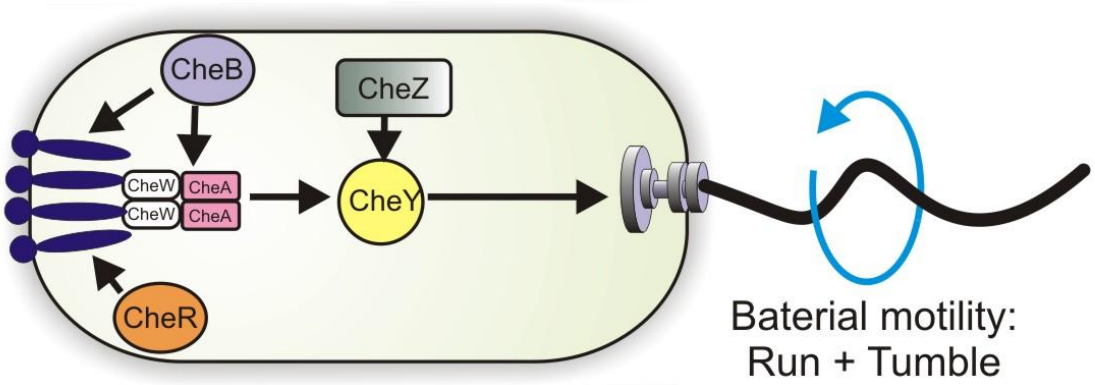
Переключение направления вращения мотора: **0,01 с**
Время тамблинга: **0,1 с**
Время передачи сигнала от рецептора к мотору: **0,2 с**

Тамблинг: Вращение жгутиков по часовой стрелке, разобщение жгутиков на отдельные нити, вращение на месте

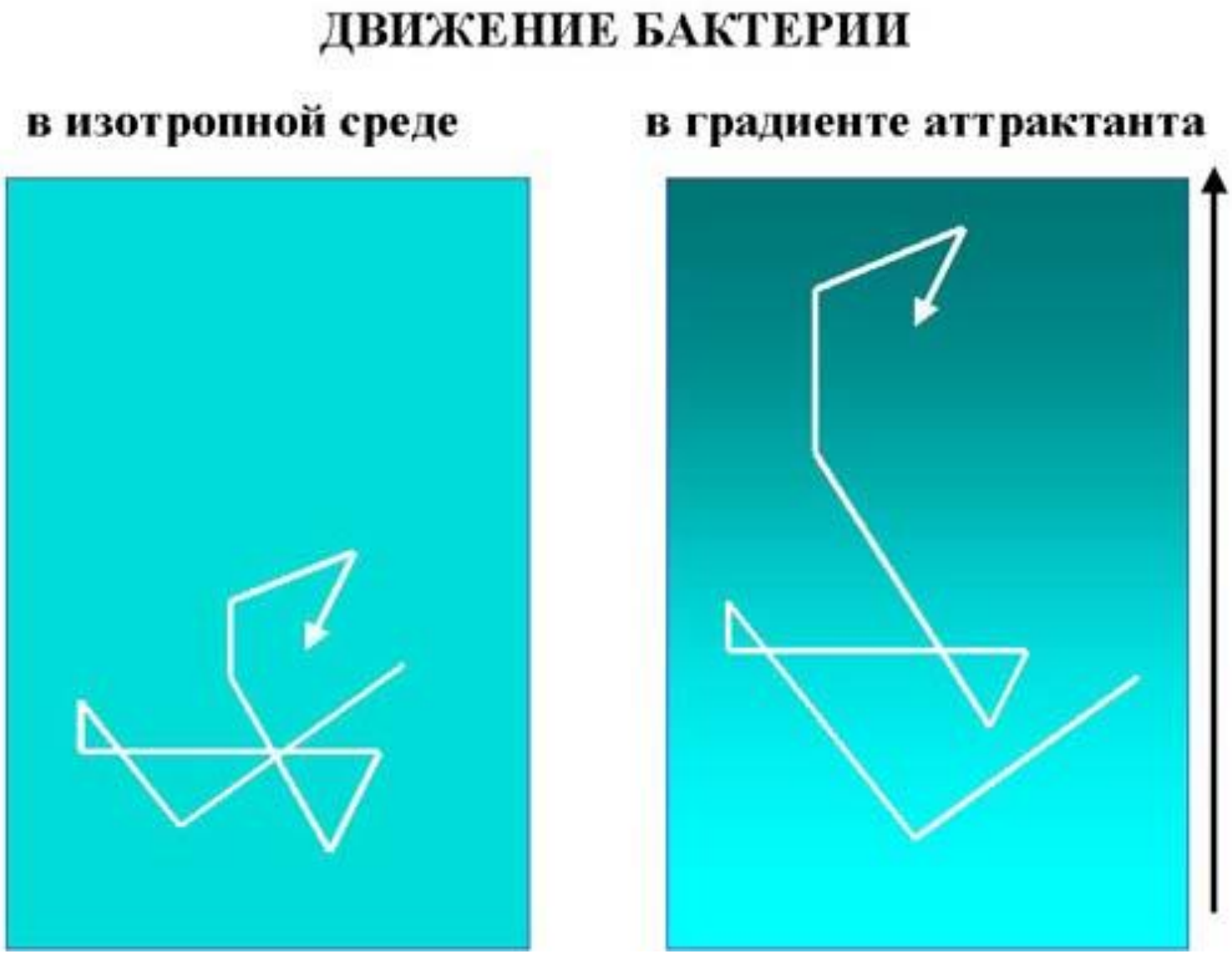
Таксис



Восприятие химических молекул или физических факторов регулирует направление вращения жгутика.



Виды:

аэротаксис
баротаксис
магнитотаксис
термотаксис
фототаксис
хемотаксис
электротаксис

Влияние аттрактанта на характер движения