

Лекция 2. Морфология бактерий.

Морфология микроорганизмов включает:

- форму;
- размеры;
- взаимное расположение особей в препарате;
- структурные компоненты (защитные — спора, капсула и дополнительные — жгутики, включения);
- тинкториальные свойства (способность воспринимать окраску простыми методами, по Граму, специальными методами и негативную).

Бактерии имеют определенную форму и размеры, которые выражаются в микрометрах (мкм). Они варьируют в широких пределах — от 0,1 -0,2 мкм до 10-15 мкм в длине и от 0,1 мкм до 2,0-2,5 мкм в диаметре. Большая часть бактерий имеет размеры 0,5-0,8 мкм x 2-3 мкм.

Различают следующие основные формы бактерий:

- шаровидные (сферические), или кокковидные (от греч. kokkos — зерно);
- палочковидные (цилиндрические);
- извитые (спиралевидные);
- нитевидные.

Кокковидные патогенные бактерии обычно имеют форму правильного шара диаметром 1,0-1,5 мкм; некоторые — бобовидную, ланцетовидную, эллипсоидную форму. По характеру взаиморасположения образующихся после деления клеток кокки подразделяют на следующие группы:

- микрококки (от лат. mikros — малый), делятся в одной плоскости, располагаются одиночно и беспорядочно, сапрофиты, патогенных для человека нет;
- диплококки (от лат. diplos — двойной), деление происходит в одной плоскости с образованием пар клеток, имеющих либо бобовидную, либо ланцетовидную форму;
- стрептококки (от греч. streptos — цепочка), деление клеток происходит в одной плоскости, но размножающиеся клетки сохраняют между собой связь и образуют различной длины цепочки, напоминающие нити бус;
- стафилококки (от лат. staphyle — гроздь винограда), деление происходит в нескольких плоскостях, а образующиеся клетки располагаются скоплениями, напоминающими гроздь винограда;
- тетракокки (от лат. tetra — четыре), деление клеток происходит в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с образованием тетрад;
- сарцины (от лат. sarcina — связка, тюк), деление клеток происходит в трех взаимно перпендикулярных плоскостях с образованием пакетов (тюков) из 8, 16, 32 и большего числа особей.

Палочковидные (цилиндрические) формы бактерий

Палочки бывают:

- длинными — более 3 мкм;
- короткими — 1,5-3,0 мкм;
- очень короткими — менее 1,0 мкм — (коккобактерии).

По диаметру их делят на тонкие (например, *Mycobacterium tuberculosis* — возбудитель туберкулеза) и толстые (например, *Clostridium perfringens* — возбудитель газовой гангрены).

Концы палочек могут быть:

- закругленными,
- заостренными,
- утолщенными,
- обрезанными;
- палочка может иметь овоидную (яйцевидную) форму (*Yersinia pestis* — возбудитель чумы).

По взаиморасположению палочковидные бактерии подразделяют на три группы:

1. монобактерии — палочки располагаются одиночно и беспорядочно, сюда относится большинство палочковидных форм;
2. диплобактерии, располагающиеся попарно;
3. стрептобактерии — бактерии, располагающиеся цепочкой.

Извитые (спиралевидные) бактерии по количеству и характеру завитков, а также по диаметру клеток подразделяют на три группы:

1. вибрионы (от греч. *vibrio* — извиваюсь, изгибаюсь) имеют один изгиб, не превышающий четверти оборота спирали;
2. спириллы (от греч. *speira* — завиток) — клетки, имеющие большой диаметр и малое (2-3) число завитков;
3. спирохеты - имеют от 3 до 20-30 завитков.

Нитевидные формы бактерий Различают два типа нитевидных бактерий:

- образующие временные нити;
- образующие постоянные нити.

Временные нити образуют палочковидные бактерии при нарушении условий их роста или регуляции клеточного деления. При восстановлении механизма регуляции деления и нормальных условий роста эти бактерии восстанавливают обычные для них размеры.



Рисунок 1. Структура прокариотной клетки

Облигатные органоиды:

- клеточная стенка;
- цитоплазматическая мембрана;
- нуклеоид;
- рибосомы;

- мезосомы.

Факультативные органоиды:

- пили (ворсинки, реснички);
- жгутики;
- капсула;
- спора;
- плазмиды;
- включения.

Цитоплазматическая мембрана ограничивает протопласт, располагаясь непосредственно под клеточной стенкой. Это сложно организованная структура, состоящая из двойного фосфолипидного слоя, пронизанного белками-глобулинами.

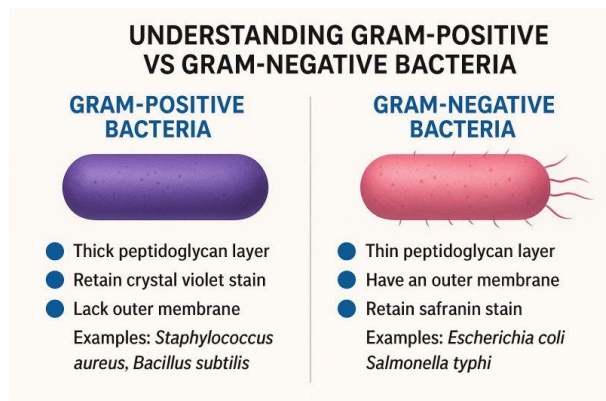
Функции цитоплазматической мембраны:

- метаболическая (содержит большое количество ферментов, осуществляющих все виды обменных процессов);
- регуляция осмотического давления, т. к. она полупроницаема;
- выделительная (экзоферментов, токсинов, других БАВ и продуктов метаболизма);
- энергетическая (транспорт электронов у аэробов);
- синтетическая (синтез компонентов клеточной стенки, в т. ч. и основных - пептидогликана, тейхоевых кислот, ЛПС, фосфолипидов);
- ее инвагинаты образует мезосомы (эквивалентны митохондриям эукариот);
- в цитоплазматической мембране находятся центры роста, от которых образуется перегородка при делении клеток и спорообразовании.

Клеточная стенка бактерий - это биополимер сложного химического состава, который покрывает всю поверхность бактериальной клетки. Структура и химический состав этого биополимера отличается у различных бактерий (рис. 2).

В конце XIX в. датским ученым Грамом была предложена дифференциальная окраска, благодаря которой бактерии были разделены на две группы, названные грамположительными и грамотрицательными.

Грамположительные бактерии сравнительно прочно удерживают анилиновые красители и не обесцвечиваются спиртом, поэтому они окрашиваются генцианвиолетом в фиолетовый цвет. Грамотрицательные бактерии обесцвечиваются спиртом и докрашиваются водным раствором фуксина в розовый цвет.



Основу клеточной стенки всех бактерий составляет пептидогликан. Он состоит из параллельных полисахаридных цепей (N-ацетилглюкозамина и N-ацетилмурамовой кислоты). У грамположительных бактерий пептидогликан связан с тейхоевыми и липотейхоевыми кислотами и имеет многослойную структуру. Тейхоевые кислоты пронизывают пептидогликан насквозь или находятся на его поверхности. Липотейхоевые кислоты закреплены в цитоплазматической мембране. Они также пронизывают пептидогликан или располагаются между ним и мембраной.

У грамотрицательных бактерий пептидогликан однослойный и покрыт *наружной мембраной* с мозаичным строением.

В ее состав входит липопротейн. Он покрыт пластинчатой мембраноподобной структурой, состоящей из фосфолипидов, липополисахарида (ЛПС) и белков. Наружная мембрана пронизана белками-поридами, которые выполняют функцию транспортных каналов.

Особое значение имеет ЛПС, содержащийся в значительном количестве в составе КС грамотрицательных бактерий. В структуре ЛПС имеется три звена: основное (базисное), к одному концу которого присоединен липид (второе звено), а к противоположному — повторяющиеся звенья сахаров (третье звено), составляющих детерминантную группу. ЛПС обладает антигенными и токсическими свойствами, поэтому его часто называют эндотоксином.

У грамотрицательных бактерий между клеточной стенкой и цитоплазматической мембраной расположено периплазматическое пространство, заполненное гидролитическими ферментами.

Функции клеточной стенки:

- формообразующая;
- защитная (механическая защита);
- поддержание осмотической резистентности клетки;
- трофическая - участие в периферическом метаболизме;
- обуславливает антигенные свойства бактериальной клетки (с ней связаны оболочечные поверхностные антигены);
- токсичность (связана с липополисахаридом клеточной стенки);
- рецепторная функция - несет на себе специфические рецепторы к бактериофагам, цинам, антибиотикам и др.;
- тинкториальные свойства - окраска по Граму.

Граммхарактеристика основных форм бактерий:

- шарообразные формы бактерий (кокки) — грамположительны (Гр+), за исключением гококка, менингококка и катарального микрококка;
- цилиндрические формы: спорообразующие палочки — бациллы и клостридии — Гр+;
- неспорообразующие (собственно бактерии) — грамотрицательны (Гр-), за исключением актиномицетной линии бактерий. В последнюю входят актиномицеты, коринебактерии и микобактерии.
- актиномикотическая друза окрашивается по Граму смешанно: аморфный центр — Гр+, периферия — Гр-;
- извитые формы (вибрионы, спириллы, спирохеты) — Гр-;
- риккетсии, хламидии — Гр-;

- микроорганизмы с дефектами или не имеющие клеточной стенки — Гр-.

Капсула

Капсула служит внешним покровом бактерий. Различают:

- микрокапсулу (имеет толщину менее 0,2 мкм и выявляется при электронной микроскопии);
- капсулу (толщина более 0,2 мкм, она четко обнаруживается под световым микроскопом после негативного окрашивания).

Капсула представляет собой слизистый слой, связанный с клеточной стенкой.

По химическому составу различают капсулы:

- состоящие из полисахаридов;
- полипептидные капсулы.

Функции капсулы:

- защита от иммунных факторов организма (фагоцитоза и антител);
- вирулентность;
- обуславливает прикрепление клеток к поверхностям, обеспечивая адгезию и колонизацию;
- антигенная структура (типовая антигенная специфичность);
- вязкость и защита микроорганизмов от высыхания;
- запас питательных веществ;
- является осмотическим барьером;
- обуславливает связь между клетками в колониях;
- препятствует прикреплению фагов к бактериальной клетке.

Жгутики являются органом движения бактерий. Представляют собой тонкие длинные нитевидные белковые образования диаметром 12-30 нм и длиной от 9 до 80 мкм. Состоят из белка (флагеллина), который обладает сократительной способностью.

По характеру расположения жгутиков и их количеству бактерии делят на следующие группы:

- атрихи - не имеют жгутиков;
- монотрихи — один полярно расположенный жгутик;
- лофотрихи — пучок жгутиков на одном конце;
- амфитрихи — пучки жгутиков на обоих концах клетки;
- перитрихи — множество жгутиков, расположенных вокруг клетки.

Жгутик состоит из трех компонентов:

- спиральной жгутиковой нити;
- крючка;
- базального тельца.

Базальное тельце состоит из центрального стержня, заключенного в систему особых колец.

У грамотрицательных бактерий их две пары: внешняя (кольца L и P) и внутренняя (кольца S и M).

Кольца L и P расположены внутри клеточной стенки (кольцо L — в ЛПС, а кольцо P — в слое пептидогликана).

Внутренняя пара (кольца S и M) фиксирована на ЦМ, причем кольцо S располагается в периплазматическом пространстве, а кольцо M — на ЦМ.

Жгутики у грамположительных бактерий содержат только одну пару колец — S и M. Вращение жгутиков в клеточной стенке происходит из-за вращательного движения колец S и M относительно друг друга. Благодаря такому вращению происходит направленное движение бактерий.

Споры и спорообразование. Некоторые роды бактерий при неблагоприятных условиях образуют защитные формы — эндоспоры. Споры представляют собой покоящиеся клетки с крайне низкой метаболической активностью. Они обладают высокой устойчивостью к высушиванию, действию повышенной температуры и различных химических веществ.

В процессе спорообразования (споруляции) бактериальная клетка подвергается сложной перестройке.

Стадии споруляции:

1. Удвоение молекулы ДНК без последующего деления клетки. ДНК принимает вид фибриллярного тяжа, расположенного вдоль спорулирующей клетки.

2. Конденсация ядерного материала — одной нити ДНК на одном из полюсов клетки. Образование септы (перегородки), отсекающей $\sim 1/3$ часть клетки от материнской. В образовании септы принимает участие мезосома.

3. Инвагинация малой части в большую и образование предспоры.

4. Формирование кортикального слоя между слоями материнских мембран. В его образовании принимает участие пептидогликан, липиды, дипиколинат кальция и др. компоненты, обуславливающие исключительно высокую стойкость спор.

5. Синтез многочисленных наружных оболочек споры — экзоспориума.

6. Превращение предспоры в зрелую спору.

Нуклеоид является эквивалентом ядра эукариот. Он лишен ядерной мембраны, не содержит хромосом, делится митозом. В нем содержится двунитевая молекула ДНК с молекулярной массой $(2-3) \times 10^9$, которая представляет собой замкнутую кольцевую структуру.

Наряду с нуклеоидом в цитоплазме могут находиться автономные кольцевые молекулы двунитевой ДНК с меньшей молекулярной массой - *плазмиды*.

Мезосомы являются инвагинатами (впячиваниями) цитоплазматической мембраны. Они располагаются в разных частях клетки. Имеют вид пузырьков, трубочек. Мезосомы связаны с нуклеоидом. Они участвуют в делении клетки и спорообразовании.

Морфология особых прокариот.

Спирохеты

Спирохеты - прокариоты, наделенные чертами сходства с простейшими. Это извитые, тонкие, обладающие активной подвижностью микроорганизмы.

Таксономия спирохет

Царство: *Procaryotae* Отдел: *Gracilicutes* Порядок: *Spirochetales*

Семейство: 1. *Spirochaetaceae* Род: *Treponema*

Род: *Borrelia* 2. *Leptospiraceae* Род: *Leptospira*

Вид: *Treponema pallidum* - возбудитель сифилиса

Borrelia recurrentis - возбудитель возвратного тифа *Leptospira interrogans* - возбудитель лептоспироза

Морфология спирохет

Спирохеты состоят из цитоплазматического цилиндра, отграниченные цитоплазматической мембраной от тонкой и эластичной клеточной стенки, которая состоит из наружной мембраны и пептидогликанового слоя. Между ЦМ и цитоплазматическим цилиндром спирохет расположены фибриллы, состоящие, так же как и жгутики бактерий, из белка флагеллина. Фибриллы прикреплены к блефаропластам — дисковидным образованиям на обоих концах цилиндра.

Фибриллы обеспечивают разные типы движения спирохет -поступательное, вращательное, сгибательное.

Спирохеты, особенно трепонемы, плохо воспринимают анилиновые красители.

Методы выявления спирохет:

- в нативных (неокрашенных) препаратах — по подвижности;
- негативная окраска по Бурри;
- импрегнация солями тяжелых металлов — серебрение по Морозову;
- окраска по Романовскому-Гимзе;
- окраска по Граму (все спирохеты грамотрицательны).

Риккетсии

Риккетсии - это прокариоты, наделенные чертами сходства с вирусами.

С вирусами их роднит абсолютный внутриклеточный паразитизм и невозможность культивирования на искусственных питательных средах.

Риккетсии представляют собой мелкие полиморфные бактерии. Имеют кокковидную, палочковидную или нитевидную форму. Клеточная стенка риккетсий построена по типу грамотрицательных бактерий.

Таксономия риккетсий

Царство: *Procaryotae* Отдел: *Gracilicutes* Порядок: *Rickettsiales*

Семейство: *Rickettsiaceae* Семейство: *Bartonellaceae*

Роды: *Rickettsia*, *Orientia* Род: *Bartonella*

До недавнего времени к риккетсиям относили род *Coxiella*. В настоящее время коксиеллы выделены из семейства *Rickettsiaceae* в отдельную группу возбудителей.

Виды: *Rickettsia prowazekii* — возбудитель эпидемического сыпного *Bartonella quintana* — возбудитель волынской лихорадки *Coxiella burnetii* — возбудитель Q-лихорадки

Способы культивирования риккетсий:

- В организме морских свинок или белых мышей.
- В организме насекомых: вшей, клещей, блох и других членистоногих.
- В желточном мешке развивающегося куриного эмбриона.
- На переживающих тканевых или клеточных культурах.

Способы обнаружения риккетсий:

- Окраска по Романовскому-Гимзе. У сине-фиолетовых риккетсий цитоплазма голубая, а хроматиновые зерна красные. Располагаются внутриклеточно (цитоплазма, ядро).
- Окраска по Здродовскому — рубиново-красные на голубом фоне цитоплазмы клетки хозяина.
- Окраска по Граму — грамотрицательны.

Хламидии

Хламидии — внутриклеточные паразиты, имеющие сложный цикл развития. Отличие хламидий от истинных прокариот:

- мелкие размеры элементарных телец (внеклеточных форм) — 0,3-0,6-1,5 мкм;
- облигатный внутриклеточный паразитизм, хламидии не имеют систем мобилизации энергии, используют АТФ клетки хозяина;
- непрокариотный цикл размножения.

Таксономия хламидий

Царство: *Procaryotae*

Отдел: *Gracilicutes*

Порядок: *Chlamydiales*

Семейство: *Chlamydiaceae*

Роды: *Chlamydia*, *Chlamydophila*

Виды: *Chlamydia trachomatis* — возбудитель трахомы, паратрахомы, лимфогранулематоза

Chlamydophila psittaci — возбудитель орнитоза *Chlamydophila pneumoniae* — возбудитель пневмонии

Методы обнаружения хламидий

- Окраска по Романовскому-Гимзе. Используется для определения хламидий на начальных и конечных этапах цикла. Они выглядят пурпурными на фоне голубой цитоплазмы клетки.
- Обработка мечеными флюорохромами сыворотками — метод РИФ.
- Обнаружение внутриклеточных включений в виде прищипанных шапочек цитологическими методами: Туревича, Муромцева и др.
- Окраска по Граму — грамотрицательны (на практике не используется).

Микоплазмы

Микоплазмы — уникальная группа полиморфных, широко распространенных в природе, грамотрицательных прокариотных микроорганизмов, отличающихся от остальных бактерий полным отсутствием клеточной стенки. Представляют собой мелкие сферические или овоидные клетки диаметром 0,2 мкм.

Таксономия

микоплазм

Царство: *Procaryotae* Отдел: *Tenericutes* Класс: *Mollicutes* Порядок: *Mycoplasmatales*

Семейство: *Mycoplasmataceae* Род: *Mycoplasma*

Род: *Ureaplasma* Семейство: *Acholeoplasmataceae* Род: *Acholeoplasma*

Виды: *Mycoplasma pneumoniae* — возбудитель пневмонии

Ureaplasma urealyticum - возбудитель урогенитальных воспалительных процессов
Mycoplasma hominis — условно-патогенный организм

Актиномицеты

Актиномицеты — особая форма прокариот, наделенная чертами сходства с грибами. Имеют вид палочек или разветвленных нитей. Размеры актиномицетов колеблются от 5,0-100 мкм и более в длину и 0,5-2,0 мкм в ширину. Жгутиков, капсул и спор не образуют. Легко окрашиваются многими анилиновыми красителями, грамположительны.

Таксономия актиномицетов

Царство:

Отдел:

Порядок:

Семейство:

Семейство:

Семейство:

Виды:

Procaryotae Firmicutes Actinomycetales Actinomycetaceae Nocardiaceae Streptomycetaceae Actinomyces bovis Actinomyces israelii Nocardia asteroides

Род: *Actinomyces* Род: *Nocardia* Род: *Streptomyces*

Актиномицеты широко распространены в природе. Большинство из них обитает в почве. Являются представителями нормальной микрофлоры организма человека. Продуцируют антибиотики. Для человека патогенны очень немногие виды актиномицетов — возбудители актиномикоза и нокардиоза.

L-формы бактерий

L-формы бактерий — это одна из форм изменчивости прокариотных микроорганизмов, заключающаяся в полной или частичной утрате клеточной стенки.

Универсальные L-трансформанты:

- антибиотики (бензилпенициллин и его полусинтетические аналоги, цефалоспорины, Д-циклосерин, бацитрацин, ванкомицин, стрептомицин, тетрациклин и др.);
- аминокислоты (глицин, фенилаланин, аргинин и др.);
- лизоцим;
- физические факторы (УФО, рентгеновское облучение, магнитные поля и др.).

L-формы обладают следующими свойствами:

- способны длительно персистировать в организме;
- способны к реверсии, т.е. возврату в исходную бактериальную форму;
- у них снижена вирулентность;
- изменена антигенная структура (утрата К- и О-антигенов);
- утрачены мезосомы, которые не восстанавливаются и при реверсии;
- снижено количество нуклеиновых кислот;
- увеличено количество липидов.