

УДК 615

Ю. А. Букина, Е. А. Сергеева

## АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМ БАКТЕРИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ И ИОНОВ СЕРЕБРА

*Ключевые слова:* Наночастица серебра, свойство, клетка, микроорганизм, антибактериальность, бактерицидность.

*Наночастицы серебра, как и другие наночастицы, характеризуются уникальными свойствами, связанными с высоким отношением их поверхности к объему, что определяет большую эффективность их действия. Серебро в ионном виде обладает бактерицидным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции. Механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра поглощаются клеточной оболочкой микроба, в результате чего его клетка остается жизнеспособной, но при этом нарушаются некоторые ее функции.*

*Keywords:* Silver nanoparticles, property, cell, microorganism, antibacterial, bactericidal.

*Silver nanoparticles are characterized by unique properties that are associated with a high ratio of surface to volume ratio, it determines the high efficiency of their action. Silver in ionic form has bactericidal, fungicidal, and pronounced antiseptic and serves as a highly effective disinfectants against pathogens causing acute infections. The mechanism of action of silver on the microbial cell is that the silver ions are absorbed by the microbe cell membrane, resulting in his cell remains viable, but it violated some of its functions.*

В настоящее время одна из быстро развивающихся областей современной нанотехнологии – создание и использование наноразмерных частиц различных материалов. Особое внимание в последнее время обращено на наночастицы серебра. Наночастицы серебра, как и другие наночастицы, характеризуются уникальными свойствами, связанными с высоким отношением их поверхности к объему, что определяет большую эффективность их действия. Большое внимание уделяется функциональной активности наночастиц серебра с точки зрения придания как бактерицидных, так и бактериостатических свойств различным материалам и изделиям. Наиболее эффективны для уничтожения болезнетворных микроорганизмов частицы серебра размером 9–15 нм. Они имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Наночастицы серебра применяются как биоцидная добавка - в форме модификатора, предназначенной для создания и производства новых материалов, покрытий и других видов продукции с биоцидными свойствами широкого спектра действия. Выбор нанокомпозитов серебра для пропитки текстиля обусловлен их значительными и неоспоримыми преимуществами перед всеми существующими антимикробными средствами, поскольку соединения серебра, обладая широким спектром антимикробной активности, во многом лишены недостатков, связанных с проблемой резистентности к ним патогенных микроорганизмов [1].

Серебро в ионном виде обладает бактерицидным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции. Кроме того, в последнее время повышенный интерес к серебру объясняется не только его мощными антибактериальными и противовирусными свойствами, но также и с выявленным действием его в организме как микроэлемента, необходимого для нормального функционирования органов и систем, иммунокорректирующими свойствами серебра. Серебро обладает иммуномодулирующими свойствами, значительно повышает специфическую защиту организма, особенно при ослабленном иммунитете.

Среди металлов серебро обладает наиболее сильным бактерицидным действием. При этом взаимодействие не самого металла, а его ионов с клетками микроорганизмов вызывает их гибель. Серебро проявляет высокую бактерицидную активность как по отношению к аэробным и анаэробным микроорганизмам (в том числе и к разновидностям, устойчивым к антибиотикам), так и к некоторым вирусам и грибам.

Исследования показали, что чувствительность разных патогенных и непатогенных организмов к серебру неодинакова. Патогенная микрофлора намного более чувствительна к ионам серебра, чем непатогенная. Поэтому серебро действует избирательно, в большей степени уничтожая вредные микроорганизмы [2].

Механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра поглощаются клеточной оболочкой микроба, в результате чего его клетка остается жизнеспособной,

но при этом нарушаются некоторые ее функции, например деление (бактериостатический эффект). Причем спектр противомикробного действия серебра значительно шире многих антибиотиков и сульфаниламидов. Серебро обладает более мощным антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывает губительное действие на штаммы (разновидности) бактерий, устойчивые к антибиотикам [3].

Таким образом, доказано, что ионы серебра оказывают различное противомикробное действие – от бактерицидного (способность убивать микробы) до бактериостатического (способность препятствовать размножению микробов).

Очень важно, что при этом ионы серебра безвредны для клеток организма человека, в отличие от микроорганизмов.

Эффект уничтожения бактерий препаратами серебра чрезвычайно велик. Он в 1750 раз сильнее действия той же концентрации карболовой кислоты и в 3,5 раза сильнее действия сулемы. Уже при концентрации 0,1 мг/л серебро обладает выраженным фунгицидным действием. Действие растворов серебра при одинаковых концентрациях выше действия хлора, хлорной извести, гипохлорида натрия и других сильных окислителей. Растворы серебра являются самым эффективным средством при непосредственном соприкосновении с поверхностями, гноящимися и воспаленными вследствие бактериального заражения [4].

Серебро обладает более мощным антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывает губительное действие на антибиотикоустойчивые штаммы бактерий. На золотистый стафилококк, вульгарный протей, синегнойную и кишечную палочки, представляющих особый интерес для клиницистов, ионы серебра оказывают различное противомикробное действие – от бактерицидного (способность убивать микробы) до бактериостатического (способность препятствовать размножению микробов). В отношении золотистого стафилококка и большинства кокков оно иногда значительно превосходит по своей выраженности действие антибиотиков.

Среди многочисленных теорий, объясняющих механизм действия серебра на микроорганизмы, наиболее распространенной является адсорбционная теория, согласно которой клетка теряет жизнеспособность в результате взаимодействия электростатических сил, возникающих между клетками бактерий, имеющих отрицательный заряд, и положительно заряженными ионами серебра при адсорбции последних бактериальной клеткой.

В общих чертах механизм борьбы серебра с одноклеточными (бактериями) и бесклеточными микроорганизмами (вирусами) представляет следующее: серебро реагирует с клеточной мембраной бактерии, которая представляет собой структуру из особых белков (пептидогликанов), соединенных аминокислотами для обеспечения механической прочности и стабильности. Серебро

взаимодействует с внешними пептидогликанами, блокируя их способность передавать кислород внутрь клетки бактерии, что приводит к «удушью» микроорганизма и его гибели.

Действие серебра специфично не по инфекции (как у антибиотиков), а по клеточной структуре. Любая клетка без химически устойчивой стенки (такое клеточное строение имеют бактерии и другие организмы без клеточной стенки, например, внеклеточные вирусы) подвержена воздействию серебра. Поскольку клетки млекопитающих имеют мембрану совершенно другого типа (не содержащую пептидогликанов), серебро никак не действует на них [5].

Некоторые исследователи, объясняя механизм воздействия серебра на клетку, особое значение придают физико-химическим процессам. В частности окислению протоплазмы бактерий и ее разрушению кислородом, растворенным в воде, причем серебро играет роль катализатора. Имеются данные, свидетельствующие об образовании комплексов нуклеиновых кислот с тяжелыми металлами, вследствие чего нарушается стабильность ДНК и, соответственно, жизнеспособность бактерий. Также допускают, что одной из причин широкого противомикробного действия ионов серебра является ингибирование транс-мембранного транспорта  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , вызываемое серебром [6].

Таким образом, механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра сорбируются клеточной оболочкой, которая выполняет защитную функцию. Клетка остается жизнеспособной, но при этом нарушаются некоторые ее функции, например деление (бактериостатический эффект). Как только на поверхности микробной клетки сорбируется серебро, оно проникает внутрь клетки и ингибирует ферменты дыхательной цепи, а также разобщает процессы окисления и окислительного фосфорилирования в микробных клетках, в результате чего клетка гибнет.

Перспективное направление в использовании биоцидных свойств наночастиц серебра – производство текстильной и полимерной продукции медицинского и бытового назначения. Прежде всего, это производство различных перевязочных материалов, текстиля медицинского назначения, а также спортивной одежды, экипировки и термобелья. Кроме того, использование изделий, изготовленных из текстильных материалов, модифицированных наночастицами серебра, позволяет добиваться различных эффектов терморегуляции тела человека, повысить эффективность работы кислородно-транспортной системы организма, поддерживать водно-жировой баланс, стимулировать работу иммунной системы, обмен веществ и регенерацию клеток. Текстильные материалы, модифицированные наночастицами серебра, могут быть использованы в качестве профилактических антимикробных средств защиты в местах, где возрастает опасность распространения инфекций: на предприятиях общественного питания, в сельскохозяйственных и животноводческих помещениях, в детских, спортивных и медицинских учреждениях.

## Литература

1. Букина, Ю.А. Получение антибактериальных текстильных материалов на основе наночастиц серебра посредством модификации поверхности текстиля неравновесной низкотемпературной плазмой / Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 7. – С. 125 – 128.
2. Doer R. Zur Oligodinamie des Silbers / R. Doer, W.Bergner // Biochem. Zeitschr. -1922. -N131. -P. 351-356.
3. Брызгунов В.С. Сравнительная оценка бактерицидных свойств серебряной воды и антибиотиков на чистых культурах микробов и их ассоциациях / В.С. Брызгунов, В.Н. Липин, В.Р. Матросова // Научн.тр.Казанского мед.ин-та. -1964. -Т.14. -С. 121-122.
4. Иванов В.Н. Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами / В.Н. Иванов, Г.М. Ларионов, Н.И. Кулиш, М.А. Лутцева и др. // Серебро в медицине, биологии и технике. Сиб.отд. РАМН. - 1995. - №4 -С. 53-62.
5. Савадян Э.Ш. Современные тенденции использования серебросодержащих антисептиков / Э.Ш. Савадян, В.М. Мельникова, Г.П. Беликова // Антибиотики и химиотерапия. -1989. -N11. -С. 874-878.
6. Abramson J.J. Heavy metals induce rapid calcium release from sarcoplasmicreticulum vesicles isolated from skeletal muscle / J.J. Abramson, J.L. Trimm, L. Weden, G. Salama // Proc. nat. Acad Sci. - 1983. - Vol 80. -N6. - P. 1526-1530.

---

© Ю. А. Букина – асп. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, ybuki@mail.ru;  
Е. А. Сергеева – д-р техн. наук, проф., глав. науч. сотр. НИО КНИТУ, katserg@rambler.ru.