

7. Казулина, В. С. Анализ состава маринадов для мяса и их свойств / В. С. Казулина // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 1. С. 118-121.

УДК 620.3:619

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И МЕДИ

***Корочкин Р.Б., *Шепилевич А.А., **Патафеев В.А.,
*Ван Гочжэн, *Чистобаева В.В.**

***УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия
ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь**

**** УО «Витебский государственный ордена «Дружбы народов»
медицинский университет», г. Витебск, Республика Беларусь**

*Коллоидный раствор наночастиц серебра/меди в концентрации 544/140 мкг/мл обладает сильным интегральным антибактериальным эффектом в отношении представителей большинства групп микроорганизмов: кокков (стафилококк, стрептококк), энтеробактерий (кишечная палочка, клебсиелла, сальмонелла) и внешнесредовых бактерий (листерия, синегнойная палочка). Подавление бактериального роста отмечается в отношении всех тестовых штаммов бактерий, за исключением сальмонеллы. Однако этот дефицит компенсируется высокой антибиопленковым эффектом в отношении всех тестовых микроорганизмов, за исключением синегнойной палочки и частично агалактийного стрептококка. **Ключевые слова:** наночастицы, антибиотики, лабораторные штаммы, ингибция роста, биопленки.*

INTEGRAL ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SILVER AND COPPER NANOPARTICLES

***Korochkin R.B., *Shepilevich A.A., ** Patafeyev V.A.,
*Wang Guozheng, *Chistobaeva V.V.**

***Vitebsk State Academy of veterinary medicine, Vitebsk, Republic of Belarus**

****Vitebsk State Order of Friendship of Peoples Medical University,
Vitebsk, Republic of Belarus**

A colloidal solution of silver/copper nanoparticles at a concentration of 544/140 µg/ml exhibits a strong integrated antibacterial effect against representatives of most groups of microorganisms: cocci (staphylococcus, streptococcus), enterobacteria (E. coli, Klebsiella, Salmonella) and environmental bacteria (Listeria, Pseudomonas aeruginosa). Suppression of bacterial growth is observed for all test bacterial strains, with the exception of

Salmonella. However, this deficiency is compensated by a high antibiofilm effect against all test microorganisms, with the exception of *Pseudomonas aeruginosa* and, partially, *Streptococcus agalactiae*. **Keywords:** nanoparticles, antibiotics, laboratory strains, growth inhibition, biofilms.

Введение. Антибиотикорезистентность определяется способностью бактерии адаптировать свой метаболизм и размножение к присутствию антибиотика в сочетании с переходом бактерии из планктонного состояния в агрегированное, что сопровождается формированием вокруг бактериальной популяции биопленки. В последнее время стал доступен новый класс антибактериальных веществ – наноразмерных частиц [4]. Из их числа наибольшей активностью обладают наночастицы серебра [1], однако они также отличаются относительно высоким биотоксическим воздействием.

В этой связи возникает необходимость модуляции препаратов на основе наночастиц серебра путем добавления биоинертного нановещества. Наиболее перспективным в этом плане выглядит комплексный препарат, изготовленный из наночастиц двух групп: благородного металла (серебра) и биоэлементного металла (меди).

Материалы и методы исследований. В опытах определяли интегральное антибактериальное действие комплексного препарата на основе наночастиц серебра (544 мкг/мл) и меди (140 мкг/мл) по совокупности их ростоингибирующего действия и антибиопленковой активности. Ингибцию роста бактерий определяли методом диффузии в агар в соответствии с рекомендациями [2]. Биопленкоподавление определяли согласно рекомендациям [3]. В качестве тестовых микроорганизмов использовали штаммы следующих бактерий: *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus agalactiae*, *Listeria monocytogenes*.

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований нами установлен высокий интегральный антибактериальный эффект раствора наночастиц серебра и меди. Показатели диаметров зон ингибции роста тестовых бактерий во всех случаях превышали 24 мм, за исключением *Salmonella enterica*, диаметр подавления роста которой составлял 16 мм. Данные показатели свидетельствуют о высокой антибактериальной активности наночастиц меди/серебра в отношении всех тестовых микроорганизмов; чувствительность сальмонеллы можно признать умеренной. Причина отличия большей чувствительности бактерии рода *Salmonella* в нашем опыте нами не устанавливалась и вполне может лежать в индивидуальных штаммовых характеристиках этого микроорганизма.

Десятикратное снижение концентрации наночастиц приводило к резкому снижению антибактериального действия, что выражалось в уменьшении диаметра зон ингибции роста ниже 14 мм (наименьшая величина отмечалась у кишечной палочки – 7 мм). Таким образом,

антибактериальный эффект испытуемого препарата обеспечивается концентрациями наночастиц серебра/меди выше 54,4/14 мкг/мл, однако точная величина минимальной ингибирующей концентрации нами не определялась.

Биопленкоингибирующая активность испытуемых наночастиц металлов также показала положительный эффект в отношении всех тестовых микроорганизмов, за исключением синегнойной палочки. Разница значения оптической плотности лунок в контрольном образце и в пробе с добавлением наночастиц во всех случаях превышала величину 4,18 при оценке с длиной волны 620 нм. Наибольший биопленкоингибирующий эффект был достигнут в отношении сальмонеллы (значение оптической плотности контрольного образца – 1,12, тестовой лунки – 0,171, процент ингибирования – 84,7%). Процент ингибирования биопленкообразования для остальных тестовых микроорганизмов составил: *E. coli* – 76,7%, *Staph.aureus* – 76,2%, *L. monocytogenes* – 52,9%.

Биопленкоингибирующий эффект наночастиц меди/серебра в отношении синегнойной палочки не был установлен, так как разница оптической плотности контрольной и тестовой лункой фактически отсутствовала. Следует отметить, что данный факт объясняется скорее низкой биопленкопродуцирующей активностью *Pseudomonas aeruginosa*, нежели устойчивостью биопленкообразования синегнойной палочки к наночастицам серебра/меди, так как оптическая плотность контрольного образца составляла всего лишь 0,122 (в тестовой лунке величина оптической плотности была незначительно ниже – 0,117, процент ингибирования – 4,2). Сравнимо низкий процент ингибирования был получен в отношении стрептококка – 11,7%, однако это также лежит в плоскости изначально низкой биопленкопродуцирующей способностью *Str.agalactiae*, нежели устойчивостью этой бактерии к биопленкоподавлению (оптическая плотность в контрольном образце – 0,222).

Снижение концентрации наночастиц сказывалось на снижении их биопленкоингибирующей активности, однако при разведении 1:10 таковая сохранялась. Разведения наночастиц металлов выше 1:20 практически не демонстрировали антибиопленковый эффект, за исключением сальмонеллы, в отношении которой разница величин оптической плотности все еще была выше 4,05. Таким образом, можно утверждать, что подавление биопленкообразования отмечается даже при концентрации наночастиц серебра/меди 54,4/14 мкг/мл.

Заключение. Комплексное вещество, состоящее из наночастиц меди и серебра в концентрации 544/140 мкг/мл, обладает сильным интегральным антибактериальным эффектом. Наноразмерные частицы серебра и меди оказывают синергичное антибактериальное действие, обусловленное подавлением роста бактериальной популяции и биопленкоформирования, в отношении представителей большинства

групп микроорганизмов, представленных как грамположительными кокками, энтеробактериями и внешнесредовыми микроорганизмами.

Литература.

1. Корочкин, Р. Б. Сравнительная цитотоксическая активность наноразмерных и ионных форм серебра / Р. Б. Корочкин, П. А. Красочко, М. А. Понаськов // Ветеринарный журнал Беларуси – 2024. – №2 (21). – С. 108–112.
2. Рекомендации по оценке антибактериальной активности наночастиц количественным и полуколичественным способом / П. А. Красочко [и др.]. – Минск : РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелесского», 2024. – 18 с.
3. Рекомендации по оценке биопленкоингибирующего действия наночастиц металлов и биоэлементов спектроскопическим анализом / П. А. Красочко [и др.]. – Минск : РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелесского», 2024. – 12 с.
4. Применение нано- и коллоидных частиц в ветеринарной медицине : монография / П. А. Красочко [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 420 с.

УДК 620.3:619

ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ ДИСКОДИФфуЗИОННЫМ МЕТОДОМ

Чистобаева В.В., Ван Гочжэн, Корочкин Р.Б., Кошнеров А.Г.

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

*Наночастицы серебра и классические антибиотики (ампициллина, цiproфлоксацина, гентамицина, энрофлоксацина и эритромицина) обладают сопоставимыми антибактериальными свойствами по результатам оценки их активности в отношении грамположительных кокков (стафилококк), грамотрицательных энтеробактерий (сальмонелла, кишечная палочка, клебсиелла) и оппортунистического патогена с природной антибактериальной устойчивостью (синегнойная палочка). Наибольшей чувствительностью к обоим антибактериальным веществам демонстрирует стафилококк, наименьшую – клебсиелла и синегнойная палочка. В дискодиффузионном методе наночастицы серебра демонстрируют менее выраженную дискриминационные отличия в антибактериальных свойствах, чем тестированные антибиотики. **Ключевые слова:** наночастицы, антибиотики, лабораторные штаммы, антибиотикорезистентность.*

EVALUATING THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF METAL NANOPARTICLES BY THE KIRBY-BAUER METHOD