

**АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
БИНТА МЕДИЦИНСКОГО МАРЛЕВОГО,  
СОДЕРЖАЩЕГО НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА ИЛИ СЕРЕБРА,  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Смотрин С.М., Довнар Р.И., \*Васильков А.Ю., \*\*Ануфрик С.С.,  
Жмакин А.И., Иоскевич Н.Н.

УО «Гродненский государственный медицинский университет», Беларусь, г. Гродно;  
\*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия, г. Москва;

\*\*УО «Гродненский государственный университет им. Я.Купалы»,  
230020 Беларусь, г. Гродно, пр. Клецкова 29-201, тел.: +375-297-868643, e-mail: dr\_ruslan@mail.ru

*Методом металло-парового синтеза получены перевязочные материалы, содержащие наночастицы золота или серебра. Изучено изменение антибактериальных свойств данных перевязочных материалов по отношению к выделенным из гнойных ран микроорганизмам: Escherichia coli, Staphylococcus haemolyticus, Staphylococcus aureus, Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa. Установлено, что при сканирующем воздействии в течение 2 минут импульсным лазерным излучением с длиной волны 532 нм и плотностью его энергии 0,6 Дж/см<sup>2</sup> через 4 часа после засева чашки Петри и помещения на нее бинта, содержащего наночастицы золота, антибактериальные свойства последнего повышаются. Данный эффект при использованных параметрах лазерного воздействия не наблюдается в отношении бинта, содержащего наночастицы серебра.*

**Ключевые слова:** наночастицы золота, наночастицы серебра, бинт медицинский марлевый, антибактериальный эффект, локальный плазмонный резонанс.

### **Введение**

Золото и серебро относятся к группе уникальных металлов, интерес к которым не ослабевал на протяжении всей истории существования нашей цивилизации, в том числе и с целью медицинского применения [8]. Это связано с присущими им особыми физическими и химическими свойствами, среди которых можно выделить отсутствие подверженности коррозии, ковкость, тягучесть, высокую теплопроводность у золота [8] и устойчивость к действию воды и кислорода, наивысшую тепло и электропроводность по сравнению с другими металлами - у серебра [1].

Золото и серебро в многообразии форм использовались еще в древнем Китае, Индии, Египте. Вместе с тем медицинское применение золота тогда было ограничено отсутствием способа его растворения [11]. В XVII-XVIII вв. золото было предложено для лечения меланхолии, обмороков, эпилепсии, нервного возбуждения [16]. В XIX ст. препараты золота нашли применение в терапии сифилиса, алкоголизма, морфиновой наркомании, преждевременного старения, нефрита, анемии, неврастении, волчанки

и хронической диспепсии [15]. Однако интенсивное использование данного металла и соединений на его основе началось лишь в XX в. после открытия Р.Кохом бактериостатических свойств *in vitro* цианида золота по отношению к бактерии туберкулеза [9]. Ошибочное предположение о том, что последняя является причиной ревматоидного артрита, привело к открытию эффективных в лечении данного заболевания препаратов золота: ауриотиомалата, ауриотиоглюкозы и ауранофина [7, 13].

Серебро получило распространение в медицине первоначально из-за присущих ему дезинфицирующих свойств, хотя механизм его антимикробного действия окончательно не раскрыт [7]. Одним из первых соединений серебра, применяемых в медицинской практике с лечебной целью, был его нитрат [3]. Первоначально он применялся в твердой форме для прижигания грануляций, кондилом, язв; с начала XIX в. в медицине постепенно начинают использоваться его растворы [1, 3]. Однако первая научная публикация об антимикробной активности низких концентраций серебра появилась лишь в 1869 г. [7].

В 1884 году Карл Креде представил 2% нитрат серебра в качестве глазных капель для предотвращения гонококковой бленнореи новорожденных, что позволило уменьшить ее частоту с 13,6 до 0,5% [12]. Данное сообщение подтолкнуло врачей к поиску новых показаний к применению раствора нитрата серебра – в частности, для лечения ран и раневой инфекции.

Открытие антибиотиков привело к тому, что исследования по антибактериальным свойствам (АБС) серебра и его соединений значительно сократились [10]. Однако появление полиантибиотикорезистентных штаммов микроорганизмов обусловило возобновление этих исследований.

Новые перспективы для медицинского использования золота и серебра открылись в связи с интенсивным развитием нанотехнологий. Было доказано, что перевод металла, в том числе золота и серебра, в наносостояние придает ему ряд новых уникальных свойств, не характерных для цельного металла: электронных, оптических, термических, химических, биологических [14]. Так, при воздействии на наночастицы золота или серебра света со специфической резонансной длины волны, зависящей прежде всего от морфологии и диэлектрического окружения последних, возникает сильное поглощение и/или рассеивание [6]; этот феномен известен как локальный плазмонный резонанс (ЛПР) [10].

Наночастицы золота размером 10 нм в воде имеют максимум поглощения при 520 нм вследствие ЛПР. Для наночастиц серебра максимум приходится на длину волны 390 нм [10]. С увеличением размеров наночастиц длина волны ЛПР сдвигается в «красную» сторону вследствие электромагнитного замедления в больших частицах [10].

Эффект ЛПР, приводящий к поглощению света и последующему выделению тепла, может быть использован в фотоакустической томографии, фототермальной терапии, в разработке новых методов доставки лекарств и т. д. [6]. Перспективным считается и применение локального плазмонного резонанса для усиления антимикробного эффекта наночастиц золота и серебра.

В ходе проведенных ранее исследований было установлено, что наночастицы золота и серебра проявляют антибактериальные свойства [3, 5]. Представляло интерес исследовать их изменение под влиянием лазерного излучения, близкого по частоте к частоте локального плазмонного резонанса. С другой стороны, поиск новых методов лечения гнойных ран и раневой инфекции связан с появлением полиантибиотикорезистентных штаммов микроорганизмов: метициллин-резистентного золотистого стафилококка, клебсиел-

лы и кишечной палочки, продуцирующих бета-лактамазы расширенного спектра, ванкомицин-резистентных энтерококков и ряда других [4].

Поэтому **целью** настоящего исследования явилось изучение изменения антибактериальных свойств перевязочного материала, содержащего наночастицы золота или серебра, при воздействии лазерного излучения, близкого по частоте к частоте локального плазмонного резонанса наночастиц золота.

### Методика

В исследовании был использован бинт медицинский марлевый (ГОСТ 1172-93) производства ООО «Фарма-маркет», г. Минск, РБ. Опытные экземпляры данного бинта были представлены бинтом медицинским марлевым с нанесенными наночастицами золота или серебра.

Наночастицы золота и серебра получали методом металло-парового синтеза на установке, детально описанной в работах [2, 17], из фольги золота (99,99%) или кусочков серебра (99,99%). При получении органозоля золота в качестве органической дисперсионной среды использовался триэтиламин, а для серебра - изопропанол, которые перед синтезом дегазировались в вакууме путем чередования циклов замораживания-размораживания. Изопропанол (Fluka, 99,8%) и триэтиламин (Aldrich, 99,2%) перед синтезом сушились над цеолитами 4 $\text{\AA}$  и перегонялись в атмосфере аргона.

Серебро испарялось резистивным нагревом из танталовой лодочки; золото испарялось с вольфрамового прутка диаметром 1,5 мм.

В процессе синтеза в установке с реактором из кварцевого стекла объемом 5 л поддерживался вакуум не выше  $10^{-4}$  мм рт. ст. при использовании высоковакуумного поста.

В типичном эксперименте в синтезе использовалось 120-150 мл органического реагента и испарялось 0,1-0,12 г металла.

Перед началом синтеза стеклянная колба реактора вакуумировалась, погружалась в сосуд с жидким азотом, после чего подавался органический реагент - изопропанол, который конденсировался на охлаждаемых стенках реактора совместно с парами металла примерно 1,5 часа.

После окончания синтеза охлаждение прекращалось, реактор с помощью шибера отсекался от вакуумного поста. В реактор подавался аргон; соконденсат металла и органики разогревался до температуры плавления. Полученным коллоидным раствором металла пропитывался бинт марлевый медицинский, который находился до модифицирования в вакуумированной колбе.

Избыток органозоля удалялся сушкой в вакууме  $10^{-1}$  мм рт.ст. при температуре  $80^{\circ}\text{C}$ .

Изучение изменения антибактериальных свойств бинта марлевого медицинского, содержащего наночастицы золота или серебра, при воздействии лазерного излучения производилось на двух штаммах грамположительных (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus haemolyticus*) и трех штаммах грамотрицательных микробов (*Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli*). Данные микроорганизмы были высеяны из гнойных ран пациентов отделений хирургического профиля больниц г. Гродно.

Отделяемое из гнойных ран для микробиологического исследования забиралось с помощью стандартных одноразовых стерильных тампонов фирмы Heinz Herenz. Доставка материала в микробиологическую лабораторию производилась в течение часа, где осуществлялось выделение чистой культуры микроба, идентификация ее с помощью прибора «Витекс» фирмы «Биомиль».

В ходе исследования засев микроорганизмов производился на скошенный мясопептонный агар Pronadisa производства Laboratorios Conda, S.A., который готовился и стерилизовался согласно инструкции фирмы-производителя. После суточного культивирования в термостате при  $37,0^{\circ}\text{C}$  производился смыв стерильным физиологическим раствором NaCl (5 мл) и разведение до нужной концентрации этим же раствором путем последовательного засева на чашки Петри с агаром разных концентраций микроорганизма. Искомая концентрация микроорганизма соответствовала формированию после засева мерной пипеткой 0,1 мл суспензии данного микроба и помещения чашки Петри в термостат на 24 часа порядка 100 колониеобразующих единиц (КОЕ). В данном исследовании применялись следующие концентрации:  $0,5 \cdot 10^{-5}$  для *S. haemolyticus*,  $0,5 \cdot 10^{-6}$  для *S. aureus*, *K. pneumonia* и *E. coli*,  $1 \cdot 10^{-7}$  для *P. aeruginosa*.

В ходе дальнейшего изучения изменения антибактериальных свойств данных перевязочных материалов производился засев 0,1 мл полученной взвеси микроорганизмов на чашку Петри с мясопептонным агаром. В последующем на каждую из них помещались по 2 полоски размерами  $1,5 \times 4$  см предварительно простерилизованного обычного бинта медицинского марлевого в контрольной группе или бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы золота или серебра в опытной. В термостате осуществлялось культивирование данных чашек Петри при температуре  $37,0^{\circ}\text{C}$  в течение 24 часов. После этого производился подсчет колониеобразующих еди-

ниц (КОЕ) в обе стороны от края бинта на расстоянии, равном диаметру одной колонии ad oculus и с использованием бинокулярной лупы.

В качестве метода стерилизации опытного и контрольного образцов бинтов использовали автоклавирование при  $121^{\circ}\text{C}$  в течение 16 минут вакуумным автоклавом «Клиниклав-25».

Лазерное облучение производилось Nd:YAG лазером LS-2147 фирмы LOTIS ТП (Беларусь) в течение 2 минут методом сканирования; длина волны зеленого излучения 532 нм, длительность импульса 16 нс, плотность энергии  $0,6 \text{ Дж/см}^2$ . Облучение осуществляли через 2 и через 4 часа после засева чашки Петри и помещения на нее перевязочного материала.

Выбранная в исследовании длина волны излучения определяется частотой локального плазмонного резонанса наночастиц золота; плотность энергии, длительность импульса и время воздействия подобраны экспериментально.

Статистическая обработка результатов производилась с использованием программы Statistica 6.0. Различие между группами оценивалось с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни при заданном 5% уровне значимости.

Для оценки степени повышения антибактериального эффекта вычисляли разность между процентным уменьшением количества колониеобразующих единиц в группе, где использовался бинт, содержащий наночастицы золота без лазерного облучения, и процентным уменьшением в группе с лазерным облучением через 4 часа после засева чашки Петри и помещения бинта на нее по формуле:

$$\begin{aligned} \text{разность процентного уменьшения КОЕ (\%)} &= \\ &= 100 \cdot \left( \frac{A-B}{A} \right) - 100 \cdot \left( \frac{A-C}{A} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

где А – среднее значение количества колониеобразующих единиц по краю бинта в группе контроля (обычный бинт медицинский марлевый без лазерного облучения), В – среднее значение количества колониеобразующих единиц в группе с бинтом марлевым медицинским, содержащим наночастицы золота с лазерным облучением через 4 часа после засева чашки Петри и помещения на нее бинта, С – среднее значение количества колониеобразующих единиц в группе с бинтом марлевым медицинским, содержащим наночастицы золота без лазерного облучения.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования изменения антибактериальных свойств обычного бинта марлевого медицинского (контроль) представлены в табл. 1

Таблица 1

**Количество колониеобразующих единиц исследуемых микроорганизмов по краю обычного бинта медицинского марлевого**

Штамм микроорганизма	Контроль (обычный бинт)			p1	p2
	1-я группа	2-я группа	3-я группа		
	Без лазерного облучения	Лазерное облучение через 2 часа	Лазерное облучение через 4 часа		
<i>Escherichia coli</i>	10,5 (9,0; 13,0)	12,0 (10,0; 15,5)	11,0 (9,5; 12,5)	0,403	0,773
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	12,5 (10,5; 14,0)	11,5 (10,0; 12,0)	13,5 (12,0; 15,0)	0,248	0,247
<i>Staphylococcus aureus</i>	10,0 (8,0; 15,0)	10,0 (8,5; 11,5)	11,0 (8,5; 12,0)	0,840	0,665
<i>Klebsiella pneumonia</i>	11,5 (10,0; 12,0)	10,0 (8,5; 11,5)	12,0 (9,5; 13,0)	0,133	0,644
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10,5 (9,5; 12,5)	9,5 (9,0; 11,0)	11,0 (9,5; 11,5)	0,157	0,728

Примечание: здесь и в табл. 2 и 3 p1 – уровень статистической значимости различий между 1-й и 2-й группами, p2 – уровень статистической значимости различий между 1-й и 3-й группами.

Таблица 2.

**Количество колониеобразующих единиц исследуемых микроорганизмов по краю бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы золота**

Штамм микроорганизма	Бинт, содержащий наночастицы золота			p1	p2
	1-я группа	2-я группа	3-я группа		
	Без лазерного облучения	Лазерное облучение через 2 часа	Лазерное облучение через 4 часа		
<i>Escherichia coli</i>	7,0 (5,0; 8,0)	5,0 (5,0; 7,0)	5,0 (4,0; 6,0)	0,106	0,019
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	10,0 (8,5; 11,0)	9,0 (8,0; 10,5)	8,5 (8,0; 9,0)	0,544	0,046
<i>Staphylococcus aureus</i>	9,0 (7,0; 9,5)	8,0 (6,0; 9,0)	6,5 (5,0; 7,5)	0,488	0,014
<i>Klebsiella pneumonia</i>	6,5 (4,0; 7,0)	5,5 (5,0; 6,5)	4,0 (3,5; 5,0)	0,564	0,040
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6,5 (5,5; 8,0)	6,0 (5,0; 7,0)	5,0 (4,0; 6,5)	0,386	0,038

Таблица 3

**Количество колониеобразующих единиц исследуемых микроорганизмов по краю бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы серебра**

Штамм микроорганизма	Бинт, содержащий наночастицы серебра			p1	p2
	1-я группа	2-я группа	3-я группа		
	Без лазерного облучения	Лазерное облучение через 2 часа	Лазерное облучение через 4 часа		
<i>Escherichia coli</i>	4,5 (3,5; 6,5)	5,5 (4,0; 7,0)	5,5 (4,5; 6,5)	0,773	0,371
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	8,5 (7,0; 9,5)	9,0 (8,0; 10,0)	9,0 (7,5; 11,0)	0,356	0,386
<i>Staphylococcus aureus</i>	7,0 (6,0; 8,0)	7,5 (6,0; 8,5)	7,0 (5,5; 7,5)	0,751	0,624
<i>Klebsiella pneumonia</i>	4,5 (3,0; 5,5)	5,0 (4,0; 5,0)	5,5 (3,5; 6,5)	0,707	0,299
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3,5 (2,0; 4,0)	3,0 (2,0; 4,0)	2,5 (2,0; 3,0)	0,840	0,106



в виде  $Me (V_{0,25}; V_{0,75})$ , где здесь и в табл. 2 и 3  $Me$  – медиана,  $V_{0,25}$  – нижний квартиль,  $V_{0,75}$  – верхний квартиль.

Анализ этих результатов показывает, что лазерное излучение с вышеприведенными характеристиками не обладает антибактериальным действием независимо от времени воздействия после засева чашки Петри, что продемонстрировано на примере обычного бинта.

В табл. 2 представлены результаты, полученные при изучении изменения противомикробных свойств бинта марлевого медицинского, содержащего наночастицы золота.

Результаты, представленные в табл. 2, показывают, что лазерное воздействие с описанными выше параметрами, осуществляемое через 2 часа после засева чашки Петри и помещения на нее бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы золота, статистически достоверно не изменяет антибактериальные свойства данного бинта. В то же время при лазерном облучении через 4 часа после засева чашки Петри и помещения бинта, содержащего наночастицы золота, антибактериальные свойства бинта значительно повышаются.

Отсутствие данного эффекта при воздействии лазером через 2 часа после засева чашки Петри и помещения бинта, по всей видимости, связано с необходимостью времени на диффузию наночастиц золота в бактериальную клетку.

Табл. 3 демонстрирует данные об антибактериальных свойствах бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы серебра, в зависимости от наличия или отсутствия воздействия лазером и времени, через которое оно осуществлялось.

Как видно в табл. 3, лазерное излучение с вышеуказанными параметрами не оказывает влияния на антибактериальные свойства бинта, содержащего наночастицы серебра.

В табл. 4 приведены данные о разности процентного уменьшения колониеобразующих единиц между группой, где использовался бинт, содержащий наночастицы золота без лазерного облучения, и группой с лазерным облучением через 4 часа. Это позволило оценить, на сколько процентов повысился антибактериальный эффект бинта, содержащего наночастицы золота, при использовании лазерного излучения.

Результаты, представленные в табл. 4, позволяют сделать вывод, что лазерное облучение, осуществ-

ляемое через 4 часа после засева чашки Петри и помещения на нее бинта, содержащего наночастицы золота, повышает антибактериальные свойства на 10–17 % в зависимости от штамма микроорганизма. Грамположительные и грамотрицательные микробы в данной таблице расположены без какой-либо закономерности, что свидетельствует о сложном механизме действия наночастиц золота, не ограничиваемым воздействием на клеточную стенку.

Таблица 4

**Разность процентного уменьшения колониеобразующих единиц между группой, где использовался бинт, содержащий наночастицы золота без лазерного облучения, и группой с лазерным облучением через 4 часа после засева чашки Петри и помещения бинта**

Штамм микроорганизма	Разность процентного уменьшения КОЕ, %
Staphylococcus aureus	17
Escherichia coli	16
Klebsiella pneumonia	14
Pseudomonas aeruginosa	13
Staphylococcus haemolyticus	10

Наблюдаемый эффект повышения антибактериальных свойств бинта, содержащего наночастицы золота, можно объяснить наличием локального плазмонного резонанса у последних. Когда наночастицы золота подвергаются электромагнитному облучению на определенной длине волны (соответствующей частоте локального плазмонного резонанса), делокализованные электроны проводимости металла будут возбуждаться и коллективно колебаться относительно кристаллической решетки положительно заряженных ядер с частотой падающего света. Этот процесс может быть разделен на два типа взаимодействия: рассеяние, при котором падающий свет переизлучается на той же длине волны во всех направлениях, и поглощение, при котором энергия трансформируется в вибрации кристаллической решетки (т. е. фононы), типично наблюдаемой как тепло [6]. Схема локального плазмонного резонанса представлена на рис. 1 [6].

В соответствии с рис. 1, поверхностный локальный плазмонный резонанс возникает вследствие коллективного колебания делокализованных электронов в ответ на воздействие внешнего электрического поля. По-видимому, во время лазерного воздействия наночастицы золота поглощают энергию излучения, которая трансформируется в тепло. В результате этого происходит локальная деструкция микробной клетки и гибель микроорганизма.

Отсутствие эффекта повышения антибактериальных свойств у бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы серебра, вероятно,

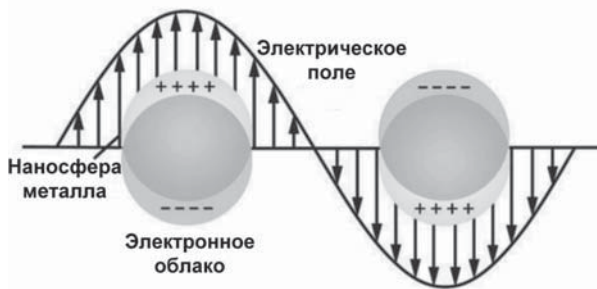


Рис. 1. Схема локального плазмонного резонанса

связано с наличием у последнего более высокой частоты локального плазмонного резонанса.

### Выводы

1) Лазерное излучение с длиной волны 532 нм и плотностью энергии 0,6 Дж/см<sup>2</sup> длительностью импульса 16 нс при облучении в течение 2 минут

методом сканирования микроорганизмов, засеянных на чашки Петри, с помещенным на них обычным бинтом, не обладает антибактериальным действием независимо от времени воздействия после засева микроорганизма.

2) Данное лазерное излучение не повышает антибактериальные свойства бинта медицинского марлевого, содержащего наночастицы серебра.

3) Лазерное излучение с описанными выше параметрами при воздействии через 4 часа после засева чашки Петри и помещения на них бинта, содержащего наночастицы золота, повышает антибактериальные свойства последнего на 10–17% в зависимости от штамма микроорганизма. Данный эффект наблюдается в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных микробов.

4) Для достижения эффекта повышения антибактериальных свойств наночастиц золота лазерное воздействие необходимо осуществлять не ранее, чем через 4 часа после помещения бинта с наночастицами на чашки Петри с засеянными микроорганизмами.

### Литература

1. Благитко Е.М. Серебро в медицине / Е.М.Благитко, В.А.Бурмистров, А.П.Колесников и др.– Новосибирск: Наука-Центр, 2004.– 256 с.
2. Васильков А.Ю. Золото- и серебросодержащий волокнисто-пористый политетрафторэтилен, полученный с использованием лазерного излучения, сверхкритического диоксида углерода и метало-парового синтеза / А.Ю.Васильков, Л.Н.Никитин, А.В.Наумкин и др. // Российские нанотехнологии.– 2009.– Т.4, №11–12.– С.52–56.
3. Смотрин С.М. Антибактериальный эффект наночастиц золота и серебра / С.М.Смотрин, А.Ю.Васильков, Р.И.Довнар и др. // Современные технологии в лечении ран и раневой инфекции: сборник Республиканской научно-практической конференции Гомельского государственного медицинского университета.– Гомель, 19–20 марта 2010 г.– С.59–60.
4. Шляпников С.А. Антибиотикорезистентность основных проблемных микроорганизмов отделения реанимации и интенсивной терапии хирургического профиля / С.А.Шляпников, Н.Р.Насер, Л.Н.Попенко, Н.В.Минаева // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН.– 2008.– №3.– С.178–179.
5. Arshi N. Microwave assisted synthesis of gold nanoparticles and their antibacterial activity against Escherichia coli / N.Arshi, F.Ahmed, S.Kumar et al. // Current Applied Physics.– 2011.– Vol.11, №1.– P.S360–S363.

6. Cobley C.M. Gold nanostructures: a class of multifunctional materials for biomedical applications / C.M.Cobley, J.Chen, E.C.Cho et al. // Chemical Society Review.– 2011.– Vol.40, №1.– P.44–56.
7. Harth M. Comparison between sodium aurothiomalate and auranofin in rheumatoid arthritis: results of a two-year open randomized study / M.Harth, P.Davis, J.M.Thompson et al. // Scandinavian Journal of Rheumatology.– 1987.– Vol.16, №3.– P.177–184.
8. Kauffman G.B. The role of gold in alchemy. Part I // Gold Bulletin.– 1985.– Vol.18, №1.– P.31–44.
9. Keers R.Y. The gold rush 1925–35 // Thorax.– 1980.– Vol.35, №12.– P.884–889.
10. Kelly K.L. The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment / K.L.Kelly, E.Coronado, L.L.Zhao, G.C.Schatz // The Journal of Physical Chemistry B.– 2003.– Vol.107, №3.– P.668–677.
11. Leicester H.M. The historical background of chemistry.– New York: Dover publications, 1971.– 260 p.
12. Melaiye A. Silver and its application as an antimicrobial agent / A.Melaiye, W.J.Youngs // Expert Opinion on Therapeutic Patents.– 2005.– Vol.15, №2.– P.125–130.
13. Papp K.A. Systemic gold therapy / K.A.Papp, N.H.Shear // Clinics in Dermatology.– 1991.– Vol.9, №4.– P.535–551.
14. Salata O.V. Applications of nanoparticles in biology and medicine // Journal of Nanobiotechnology.– 2004.– Vol.2.– P.3–9.

15. Shoemaker J.V. Gold; with especial reference to its clinical application // The Journal of the American Medical Association.– 1983.– №24.– P.656-658.

16. Trease G.E. Pharmacy in history.– London: Bailliere, Tindall & Cox, 1964.– 265 p.

17. Vasil'kov A. Ultrahigh molecular weight polyethylene modified with silver nanoparticles prepared by metal-vapour synthesis / A.Vasil'kov, A.Naumkin, L.Nikitin et al. // AIP Conference Proceedings.– 2008.– Vol.1042.– P.255-257.

**АНТИБАКТЕРІАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БИНТА МЕДИЧНОГО МАРЛЕВОГО, ЩО МІСТИТЬ НАНОЧАСТКИ ЗОЛОТА АБО СРІБЛА, ПРИ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

*Смотрін С.М., Довнар Р.І., Васильков О.Ю., Ануфрік С.С., Жмакін А.І., Іоскевіч М.М.*

*Методом метало-парового синтезу отримані перев'язувальні матеріали, що містять наночастки золота або срібла. Вивчена зміна антибактеріальних властивостей цих перев'язувальних матеріалів по відношенню до виділених з гнійних ран мікроорганізмів: Escherichia coli, Staphylococcus haemolyticus, Staphylococcus aureus, Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa. Встановлено, що при дії лазерним випромінюванням довжиною хвилі 532 нм, щільністю енергії 0,6 Дж/см<sup>2</sup>, тривалістю імпульсу 16 нс впродовж двох хвилин методом сканування через 4 години після засіву чашки Петрі і нанесенні на неї бинта, що містить наночастки золота, антибактеріальні властивості останнього підвищуються. Цей ефект, при використаних параметрах дії лазером, не спостерігається відносно бинта, що містить наночастки срібла.*

**Ключові слова:** наночастки золота, наночастки срібла, бинт медичний марлевий, антибактеріальний ефект, локальний плазмонний резонанс.

**ANTIBACTERIAL EFFECTIVENESS OF MEDICAL GAUZE BANDAGE, CONTAINING GOLD OR SILVER NANOPARTICLES, UNDER EXPOSURE TO LASER RADIATION**

*Smotrin S.M., Dovnar R.I., Vasil'kov A.Yu., Anufrik S.S., Zhmakin A.I., Iaskevich M.M.*

*The bandaging materials, containing gold or silver nanoparticles, were gotten by method of metal vapor synthesis. The change of antibacterial properties of given bandaging materials was studied concerning to isolated from purulent wounds microorganisms: Escherichia coli, Staphylococcus haemolyticus, Staphylococcus aureus, Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa. It was established that antibacterial properties of bandage, containing gold nanoparticles, are increased on exposure to laser radiation of wavelength 532 nm, energy density 0.6 J/cm<sup>2</sup>, pulse duration 16 ns during 2 minutes by scanning method through 4 hours after sowing of Petri dish and the placement of this bandage. This effect isn't observed concerning bandage, containing silver nanoparticles, in used parameters of laser exposure.*

**Keywords:** gold nanoparticles, silver nanoparticles, medical gauze bandage, antibacterial effect, localized plasmon resonance.