Machine Translated by Google

Progrès en biotechnologie 27 (2009) 76–83

Listes de contenu disponibles sur ScienceDirect

Progrès de la biotechnologie

page d'accueil du journal : www.elsevier.com/locate/biotechadv

Article de synthèse de recherche

Les nanoparticules d'argent comme nouvelle génération d'antimicrobiens

Mahendra Rai , Alka Yadav, Aniket Gade

Département de biotechnologie, Université SGB Amravati, Amravati-444-602, Maharashtra, Inde

Informations sur l'article

Historique de l'article :
Reçu le 28 juillet 2008
Reçu sous forme révisée le 18 septembre 2008
Accepté le 18 septembre 2008
Disponible en ligne le 30 septembre 2008

Mots clés:
Argent
Nanotechnologie
Nanoparticules d'argent
Agent antimicrobien

abstrait

L'argent est utilisé depuis des temps immémoriaux sous forme d'argent métallique, de nitrate d'argent et de sulfadiazine d'argent. pour le traitement des brûlures, des plaies et de plusieurs infections bactériennes. Mais en raison de l'émergence de plusieurs antibiotiques, l'utilisation de ces composés d'argent a considérablement diminué. La nanotechnologie gagne un élan considérable au cours du siècle actuel en raison de sa capacité à moduler les métaux jusqu'à leur taille nanométrique, qui modifie radicalement les propriétés chimiques, physiques et optiques des métaux. L'argent métallique sous forme des nanoparticules d'argent a fait un retour remarquable en tant qu'agent antimicrobien potentiel. L'utilisation de l'argent Les nanoparticules sont également importantes, car plusieurs bactéries pathogènes ont développé une résistance contre diverses antibiotiques. Par conséquent, les nanoparticules d'argent ont émergé avec diverses applications médicales allant de pansements à base d'argent, dispositifs médicinaux recouverts d'argent, tels que nanogels, nanolotions, etc.

© 2008 Elsevier Inc. Tous droits réservés.

Contenu

1. Présentation 2. 76
L'argent comme agent antimicrobien. 77
3. Argent métallique 4. 77
Sulfadiazine d'argent 77
5. Zéolite d'argent 77
6. L'état de l'art. 77
7. Mécanisme d'action 7.1. 80
Mécanisme d'action de l'argent 7.2. 80
Mécanisme d'action des ions argent/AgNO3 80
7.3. Mécanisme d'action de la zéolite d'argent 7.4. 81
Mécanisme d'action des nanoparticules d'argent 81
8. Effet de la taille et de la forme sur l'activité antimicrobienne des nanoparticules. 81
9. Utilisation de nanoparticules d'argent pour l'imprégnation. 81
9.1. Dispositifs médicaux revêtus d'argent 81
9.2. Pansements argentés. 81
9.3. Tissus textiles enduits d'argent 81
9.4. Toxicité de l'argent. 82
10. Demandes 82
11. Conclusion et perspectives d'avenir. 82
Références 82

1. Introduction

En raison de l'apparition de maladies infectieuses causées par différentes bactéries pathogènes et le développement de la résistance aux antibiotiques les sociétés pharmaceutiques et les chercheurs sont à la recherche de nouvelles agents antibactériens. Dans le scénario actuel, les matériaux à l'échelle nanométrique ont sont apparus comme de nouveaux agents antimicrobiens en raison de leur surface élevée rapport surface/volume et propriétés chimiques et physiques uniques (Morones et al., 2005 ; Kim et al., 2007).

La nanotechnologie est en train de devenir un domaine en pleine croissance avec ses application en science et technologie dans le but de fabriquer de nouveaux matériaux à l'échelle nanométrique (Albrecht et al., 2006).
le mot « nano » est utilisé pour indiquer un milliardième de mètre ou 10−9 . Le

Auteur correspondant.
Adresse e-mail : mkrai123@rediffmail.com (M. Rai).

0734-9750/$ – voir page de garde © 2008 Elsevier Inc. Tous droits réservés.
est ce que je:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002

Machine Translated by Google

Le terme nanotechnologie a été inventé par le professeur Norio Taniguchi de l'Université des sciences de Tokyo en 1974 pour décrire la fabrication de précision de matériaux à l'échelle nanométrique (Taniguchi, 1974).
Le concept de nanotechnologie a été donné par le physicien professeur Richard P. Feynman dans sa conférence Il y a beaucoup de place au fond (Feynman, 1959).

La bionanotechnologie est née de l'intégration entre la biotechnologie et la nanotechnologie pour développer une technologie biosynthétique et respectueuse de l'environnement pour la synthèse de nanomatériaux.

Les nanoparticules sont des amas d'atomes dont la taille varie de 1 à 100 nm. « Nano » est un mot grec synonyme de nain qui signifie extrêmement petit. L'utilisation des nanoparticules prend de l'ampleur au cours du siècle actuel car elles possèdent des propriétés chimiques, optiques et mécaniques définies . Les nanoparticules métalliques sont les plus prometteuses car elles présentent de bonnes propriétés antibactériennes en raison de leur grand rapport surface/volume, ce qui suscite actuellement l'intérêt des chercheurs en raison de la résistance microbienne croissante aux ions métalliques, aux antibiotiques et au développement de souches résistantes (Gong et al., 2007).

Différents types de nanomatériaux comme le cuivre, le zinc, le titane (Retchkiman-Schabes et al., 2006), le magnésium, l'or (Gu et al., 2003), l'alginate (Ahmad et al., 2005) et l'argent ont fait leur apparition, mais les nanoparticules d'argent se sont avérées les plus efficaces car elles ont une bonne efficacité antimicrobienne contre les bactéries, les virus et d'autres micro-organismes eucaryotes (Gong et al., 2007). Les nanoparticules d'argent utilisées comme désinfectant médicamenteux présentent certains risques car l'exposition à l'argent peut également provoquer une agyrose et une argyrie ; il est toxique pour les cellules de mammifères (Gong et al., 2007).

L'étude actuelle soutient que l'utilisation d'ions argent ou d'argent métallique ainsi que de nanoparticules d'argent peut être exploitée en médecine pour le traitement des brûlures, les matériaux dentaires, le revêtement de matériaux en acier inoxydable, les tissus textiles, le traitement de l'eau, les lotions solaires, etc. et possède une faible toxicité pour les cellules humaines, une stabilité thermique élevée et une faible volatilité (Duran et al., 2007).

2. L'argent comme agent antimicrobien

Depuis des siècles, l'argent est utilisé pour traiter les brûlures et les plaies chroniques. Déjà 1000 avant J.-C., l'argent était utilisé pour rendre l'eau potable (Richard et al., 2002 ; Castellano et al., 2007). Le nitrate d'argent était utilisé sous sa forme solide et était connu sous différents termes comme « Luna caustic » en anglais, « Lapis infernale » en latin et « Pierre infernale » en français (Klasen, 2000). En 1700, le nitrate d'argent était utilisé pour traiter les maladies vénériennes, les fistules des glandes salivaires et les abcès osseux et périanaux (Klasen, 2000 ; Landsdown, 2002). Au 19e siècle, les tissus de granulation étaient éliminés à l'aide de nitrate d'argent pour permettre l'épithélisation et favoriser la formation de croûtes à la surface des plaies. Des concentrations variables de nitrate d'argent ont été utilisées pour traiter les brûlures récentes (Castellano et al., 2007 ; Klasen, 2000). En 1881, Carl SF

Crede a guéri une ophtalmie néonatale à l'aide de gouttes ophtalmiques au nitrate d'argent. Le fils de Crede, B. Crede, a conçu des pansements imprégnés d'argent pour les greffes cutanées (Klasen, 2000 ; Landsdown, 2002). Dans les années 1940, après l'introduction de la pénicilline, l'utilisation de l'argent pour le traitement des infections bactériennes a été minimisée (Hugo et Russell, 1982 ; Demling et DeSanti, 2001 ; Chopra, 2007). L'argent est revenu sur le devant de la scène dans les années 1960 lorsque Moyer a introduit l'utilisation de nitrate d'argent à 0,5 % pour le traitement des brûlures. Il a suggéré que cette solution n'interfère pas avec la prolifération épidermique et possède une propriété antibactérienne contre Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli (Moyer et al., 1965 ; Bellinger et Conway, 1970). En 1968, le nitrate d'argent a été combiné avec de la sulfonamide pour former une crème à base de sulfadazine d'argent, qui a servi d'agent antibactérien à large spectre et a été utilisée pour le traitement des brûlures. La sulfadazine d'argent est efficace contre des bactéries comme E. coli, S. aureus, Klebsiella sp., Pseudomonas sp. Elle possède également certaines activités antifongiques et antivirales (Fox et Modak, 1974). Récemment, en raison de l'émergence de bactéries résistantes aux antibiotiques et les limites de l'utilisation des antibiotiques ont amené les cliniciens à revenir aux pansements à base d'argent contenant différents niveaux d'argent (Gemmell et al., 2006 ; Chopra, 2007).

3. Argent métallique

La propriété antimicrobienne de l'argent est liée à la quantité d'argent et au taux d'argent libéré. L'argent dans son état métallique est inerte, mais il réagit avec l'humidité de la peau et le liquide de la plaie et s'ionise. L'argent ionisé est très réactif, car il se lie aux protéines tissulaires et entraîne des changements structurels dans la paroi cellulaire bactérienne et la membrane nucléaire, entraînant une distorsion et la mort des cellules. L'argent se lie également à l'ADN et à l'ARN bactériens en les dénaturant et inhibe la réplication bactérienne (Lansdown, 2002 ; Castellano et al., 2007).

4. Sulfadiazine d'argent

La sulfadiazine d'argent (AgSD) est une combinaison d'argent et de sulfadiazine. L'AgSD est utilisée sous forme de crème hydrosoluble à 1 %. L'AgSD agit comme un antibiotique à large spectre. Il est utilisé notamment pour le traitement des brûlures. L'AgSD sert de réservoir d'argent dans la plaie et libère lentement des ions argent. Toutes sortes de sulfamides ont été testés en combinaison avec l'argent, mais la sulfadiazine s'est avérée la plus efficace. L'AgSD se lie aux composants cellulaires, notamment à l'ADN, et provoque des lésions membranaires (Atiyeh et al., 2007). Elle inhibe les bactéries en se liant aux paires de bases de l'hélice d'ADN et inhibe ainsi la transcription. De la même manière, elle se lie également à l'ADN des phages (Fox et Modak, 1974 ; Maple et al., 1992 ; Mcdonnell et Russell, 1999).

5. Zéolite d'argent

La zéolite d'argent est obtenue en complexant un métal alcalino-terreux avec un aluminosilicate cristallin, qui est partiellement remplacé par des ions argent par la méthode d'échange d'ions. Au Japon, les céramiques sont fabriquées avec un revêtement de zéolite d'argent pour appliquer des propriétés antimicrobiennes à leurs produits.
Ces céramiques sont utilisées pour la conservation des aliments, la désinfection des produits médicaux et la décontamination des matériaux .

6. L'état de l'art

Feng et al. (2000) ont rapporté une étude mécaniste de l'inhibition des ions argent contre deux souches de bactéries, S. aureus et E. coli. Pour l'expérience, les deux bactéries E. coli et S. aureus ont été inoculées sur du milieu Luria Bertoni (LB) et incubées à 37 °C sur un agitateur rotatif (200 tr/min) pendant 16 h. Après cela, 10 µg/ml de nitrate d'argent ont été ajoutés à la culture liquide et laissés pousser pendant 4 à 12 h. Cinq millilitres de la culture ci-dessus ont été retirés, centrifugés et la biomasse obtenue a été étudiée plus en détail par microscopie électronique à transmission (MET) et micro-analyse aux rayons X pour découvrir les changements morphologiques survenus dans E. coli et S. aureus après traitement avec des ions argent. Dans le cas d'E. coli, des changements morphologiques significatifs ont été observés après le traitement aux ions argent. Une région de lumière électronique a été observée au centre des cellules d'E. coli contenant une substance étroitement condensée torsadée. Un grand espace a été observé entre la membrane du cytoplasme et la paroi cellulaire. La présence de quelques granules denses aux électrons autour de la paroi cellulaire a également été constatée. La microanalyse aux rayons X de ces granules denses aux électrons a démontré la présence d'argent et de soufre, ce qui suppose que les ions argent après être entrés dans la cellule bactérienne pourraient s'être combinés avec les composants cellulaires contenant du soufre.

De même, dans le cas de S. aureus, on a observé la présence d'une substance condensée dans la région de lumière électronique. La membrane du cytoplasme a rétréci et s'est détachée de la paroi cellulaire. Dans la région condensée des cellules de S. aureus, on a trouvé la présence d'une grande quantité de phosphore.
De légères différences ont également été observées en ce qui concerne l'effet des ions argent sur S. aureus par rapport à E. coli.

Machine Translated by Google

Des granules denses ont été observés chez S. aureus et la région de lumière électronique était plus sombre que celle des cellules E. coli. S. aureus a un système de défense beaucoup plus fort que E. coli car les bactéries à Gram positif ont une paroi cellulaire de peptidoglycane plus épaisse et il existe une région nucléaire clairement visible au centre des cellules où les molécules d'ADN sont distribuées de manière aléatoire. Ainsi, cette paroi cellulaire plus épaisse protège la cellule de la pénétration des ions argent dans le cytoplasme. Par l'évaluation comparative des effets des ions argent sur les deux organismes tests, les auteurs ont suggéré le mécanisme d'action possible des ions argent. Les ions argent pénètrent dans les cellules bactériennes en pénétrant à travers la paroi cellulaire et transforment par conséquent l'ADN en forme condensée qui réagit avec les protéines du groupe thiol et entraîne la mort cellulaire. Les ions argent interfèrent également avec le processus de réplication. Kazachenko et al. (2000) ont étudié la synthèse et l'activité antimicrobienne des complexes d'argent avec l'histidine et le tryptophane. À la solution aqueuse 0,05 M d'histidine et de tryptophane, on a ajouté 0,05 M de nitrate d'argent, ce qui a entraîné la formation d'un précipité blanc. Ce précipité a été centrifugé, séché et utilisé pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne par la méthode de double dilution en série. La toxicité des complexes d'argent de tryptophane et d'histidine a été testée sur un groupe de souris bâtardes blanches. Le complexe d'histidine avec un composé d'argent a montré une bonne activité antimicrobienne contre les bactéries à Gram négatif, tandis que le complexe de tryptophane avec un composé d'argent a montré une activité antimicrobienne plus élevée et un large spectre d'action. Dans l'étude de toxicité, les complexes d'histidine et de tryptophane ont tous deux montré une faible toxicité.

Les travaux expérimentaux ci-dessus ont montré que le complexe tryptophane-argent présentait une meilleure activité antimicrobienne que le complexe histidine-argent. Spacciapoli et al. (2001) ont démontré l'utilisation du nitrate d'argent pour le traitement des agents pathogènes parodontaux. Ils ont constaté que le nitrate d'argent était plus efficace que les antibiotiques pour le traitement des infections parodontales de la cavité buccale.

Matsumura et al. (2003) ont étudié l'activité de la zéolite d'argent contre E. coli et ont comparé son activité antibactérienne avec le nitrate d'argent. Les souches E. coli OW6, CSH7 et UM1 ont été utilisées pour l'étude. Ces cellules bactériennes ont été collectées par centrifugation et remises en suspension dans une suspension de zéolite d'argent ou de nitrate d'argent dont la densité variait de 10 à 100 mg/l. Les résultats obtenus ont clairement montré que la zéolite d'argent à 100 mg/l réduisait les cellules E. coli OW6 viables dans un tampon phosphate de potassium 20 mM à pH 7,0. De même, une réduction du nombre de cellules viables a été observée avec un tampon HEPES NaOH 20 mM à pH 7,0. L'activité de la zéolite d'argent était plus prononcée à une température plus élevée (0 à 42 °C) et à un pH plus élevé (6,5 à 8,5). Les souches CSH7 et UM1 se sont révélées sensibles à la zéolite d'argent et au nitrate d'argent.

Les auteurs ont comparé les effets de diverses substances sur l'activité antimicrobienne de 1 µM de nitrate d'argent et de 100 mg/l de zéolite d'argent.
L'ajout de L-cystéine, de L-méthionine, de L-histidine, de L-tryptophane et d'albumine sérique bovine a inhibé l'activité bactéricide de la zéolite d'argent, tandis que le 2,2-dipyridyle a amélioré l'activité bactéricide de cette solution. L'activité bactéricide du nitrate d'argent a été inhibée par l'ajout de L-cystéine, de L-histidine, de manganèse, de magnésium et d'ions ferreux. On peut en conclure que les ions argent se lient à la matrice zéolitique et jouent un rôle majeur dans la détermination de l'activité bactéricide de la zéolite d'argent.

En détectant l'activité bactéricide de la zéolite d'argent et du nitrate d'argent dans des conditions anaérobies, on a constaté qu'un plus grand nombre de cellules étaient viables dans des conditions anaérobies que dans des conditions aérobies. Dans cette étude, Matsumura et al. (2003) ont suggéré deux processus possibles impliqués dans l'action de la zéolite d'argent : tout d'abord, les cellules bactériennes entrant en contact avec la zéolite d'argent absorbent des ions argent qui endommagent la cellule bactérienne. Deuxièmement, la génération d'espèces réactives de l'oxygène par inhibition des enzymes respiratoires par les ions argent endommage la cellule bactérienne elle-même. Sondi et Salopek-Sondi (2004) ont rapporté l'activité antimicrobienne des nanoparticules d'argent contre E. coli comme modèle pour les bactéries à Gram négatif. À partir des micrographies SEM, la formation d'agrégats composés de nanoparticules d'argent et de cellules bactériennes mortes a été observée. Il a également été observé que les nanoparticules d'argent interagissent avec les éléments constitutifs de la bactérie

Les nanoparticules d'argent pénètrent dans la membrane cellulaire et peuvent endommager la cellule. L'analyse TEM et l'étude EDAX ont confirmé l'incorporation de nanoparticules d'argent dans la membrane, ce qui a été reconnu par la formation de creux à la surface cellulaire. Ils ont conclu que les nanomatériaux pourraient s'avérer simples, rentables et adaptés à la formulation de nouveaux types de matériaux bactériens. Butkus et al. (2004) ont étudié l'effet synergique des ions argent et du rayonnement UV sur un virus à ARN, ce qui peut améliorer efficacement l'efficacité du rayonnement UV. Ce rayonnement UV amélioré peut être utilisé pour l'inactivation de virus pathogènes tels que le poliovirus, le norovirus et les adénovirus entériques. La réaction synergique entre l'argent et les UV était plus sensible à une concentration d'argent comprise entre 0,01 et 1 mg/l et il n'y avait pas d'inactivation à une concentration d'argent supérieure à 1 mg/l. Baker et al. (2005) ont rapporté la synthèse de nanoparticules par des techniques de condensation et de co-condensation de gaz inerte. L'efficacité antibactérienne des nanoparticules a été testée contre E. coli en milieu liquide et solide. Les nanoparticules se sont révélées avoir une activité antibactérienne à de faibles concentrations. Les nanoparticules se sont révélées cytotoxiques pour les cellules E. coli à une concentration de 8 µg/cm2 .

Français Le mécanisme à l'origine de l'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent était supposé être lié au rapport surface/volume des nanoparticules. Les particules de plus petite taille possédaient un rapport surface/volume plus grand et donc une activité antibactérienne efficace. Ainsi, les nanoparticules se sont révélées cytotoxiques pour E. coli. Morones et al. (2005) ont étudié l'effet des nanoparticules d'argent dans la gamme de tailles de 1 à 100 nm sur les bactéries Gram-négatives en utilisant la microscopie à champ sombre annulaire à angle élevé (HAADF) et la microscopie électronique en transmission (MET). Pour l'étude, une poudre de nanoparticules disponible dans le commerce a été utilisée et a été introduite dans de l'eau pour l'interaction des nanoparticules avec l'eau. La caractérisation des nanoparticules a été effectuée par MET. Pour étudier l'interaction des nanoparticules d'argent avec les bactéries, des plaques LB contenant différentes concentrations de nanoargent (0,25, 50, 75, 100 µg/ml) ont été préparées et inoculées avec 10 µl de culture bactérienne (E. coli). Français L'interaction des nanoparticules d'argent avec les bactéries a été analysée en faisant croître les cellules bactériennes jusqu'à la phase logarithmique moyenne, puis en mesurant la DO à 595 nm. La nature électrochimique des nanoparticules d'argent a été analysée par voltamétrie à stripping. L'analyse TEM a démontré que les nanoparticules avaient une taille de 16 nm. Alors que l'étude HRTEM confirme la forme cuboctaédrique, icoseédrique multiplement maclée et décaédrique des nanoparticules. L'effet de différentes concentrations d'argent sur la croissance des bactéries a démontré qu'à une concentration supérieure à 75 µg/ml, aucune croissance bactérienne significative n'a été observée. L'analyse STEM (Scanning Transmission Electron Microscopy) confirme la présence d'argent dans la membrane cellulaire et à l'intérieur des bactéries.

Seules des particules individuelles ont été trouvées attachées aux membranes de surface.
Français Les images en champ sombre annulaire à angle élevé (HAADF) montrent que les nanoparticules de plus petite taille (~ 5 nm) présentent une activité antibactérienne efficace, concluant ainsi que l'activité des nanoparticules d'argent dépend de la taille. Yamanaka et al. (2005) ont étudié l'efficacité antibactérienne des ions argent en utilisant E. coli comme organisme modèle à l'aide de la microscopie électronique en transmission (EFTEM), de l'électrophorèse bidimensionnelle (2-DE) et de la spectrométrie de masse à temps de vol et désorption-ionisation laser assistée par matrice (MALDI-TOF MS). À partir des techniques de caractérisation ci-dessus, il a été constaté que les ions argent pénètrent dans les cellules bactériennes plutôt que de résider dans la membrane cellulaire. L'analyse 2-DE et l'analyse MALDI-TOF MS indiquent qu'une protéine de sous-unité ribosomique et certaines enzymes et protéines sont affectées par les ions argent. Ainsi, les auteurs concluent que l'action bactéricide des ions argent est essentiellement due à l'interaction des ions argent avec le ribosome et à la suppression et à l'expression des enzymes et des protéines nécessaires à la production d'ATP.

Panacek et al. (2006) ont décrit un protocole en une étape pour la synthèse de nanoparticules colloïdales d'argent. Ils ont découvert une activité antimicrobienne et bactéricide élevée des nanoparticules d'argent sur les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, y compris les souches multirésistantes telles que S. aureus résistant à la méthicilline. L'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent s'est avérée dépendante de la taille, les nanoparticules de

Machine Translated by Google

Les nanoparticules de taille 25 nm possédaient l'activité antibactérienne la plus élevée. Les nanoparticules étaient toxiques pour les cellules bactériennes à des concentrations inférieures à 1,69 µg/ml d'Ag. Leaper (2006) a étudié l'utilisation de pansements à base d'argent et leur rôle dans la cicatrisation des plaies, ainsi que le rôle des pansements à base d'argent nanocristallin dans la gestion des plaies. L'administration topique de nanoparticules d'argent favorise la cicatrisation des plaies par brûlure avec une meilleure apparence esthétique et fournit une orientation thérapeutique efficace pour une cicatrisation sans cicatrice des plaies (Tian et al., 2006).

Français Shahverdi et al. (2007) ont étudié les effets combinés des nanoparticules d'argent avec des antibiotiques. Les nanoparticules d'argent ont été synthétisées à l'aide de Klebsiella pneumoniae et ont évalué son activité antimicrobienne contre S. aureus et E. coli. D'après les travaux expérimentaux ci-dessus, il a été observé que l'activité antibactérienne d'antibiotiques comme la pénicilline G, l'amoxicilline, l'érythromycine, la clindamycine et la vancomycine augmentait en présence de nanoparticules d'argent contre E. coli et S. aureus. L'activité synergique la plus élevée a été observée avec l'érythromycine contre S. aureus. Shrivastava et al. (2007) ont rapporté la synthèse de nanoparticules d'argent dans la gamme de tailles de 10 à 15 nm et son effet dépendant de la dose sur les micro-organismes Gram-négatifs et Gram-positifs. D'après les résultats, il a été constaté que les nanoparticules d'argent dose-dépendantes ont une activité marquée contre les organismes Gram-négatifs que contre les organismes Gram-positifs.

Pal et al. (2007) ont étudié les propriétés antibactériennes des nanoparticules d'argent de différentes formes et ont découvert que l' efficacité antibactérienne des nanoparticules d'argent dépend de la forme. Les nanoparticules d'argent ont été préparées par la méthode de croissance ensemencée pour la synthèse de nanoparticules sphériques et par la méthode de phase en solution pour la synthèse de nanoparticules en forme de bâtonnets et de triangles tronqués.
Français Les nanoparticules résultantes synthétisées ont été purifiées par centrifugation à 2100 ×g pendant 10 min et suspendues dans de l'eau. Pour la mesure de la cinétique de destruction du nano-argent, E. coli (ATCC10536) a été inoculé dans un bouillon nutritif et introduit dans différentes concentrations de nano-argent, incubé à 37 °C et conservé sur un agitateur à 225 tr/min. Des plaques d'agar nutritif inoculées avec 100 µl de suspension bactérienne ont été traitées avec différentes concentrations de nano-argent (1, 6, 12, 12,5, 50 ou 100 µg) pour évaluer la sensibilité des bactéries à l'argent. Les plaques ont été incubées pendant la nuit à 37 °C et la caractérisation des nanoparticules a été réalisée par spectroscopie UV-vis et EFTEM (MET à filtrage d'énergie). Français La spectroscopie UV-vis des nanoparticules synthétisées par la méthode de croissance ensemencée a montré une bande d'absorption à 420 nm démontrant la présence de nanoparticules sphériques qui a été confirmée par des images TEM. Les nanoparticules synthétisées par la méthode de phase en solution ont représenté deux bandes d'absorption à 418 nm et 514 nm. La synthèse de nanoparticules en forme de bâtonnet a été confirmée par EFTEM tandis que la synthèse de nanoparticules triangulaires tronquées a été confirmée par diffraction des rayons X (DRX). L'inhibition de la croissance bactérienne par les nanoparticules sphériques a été observée à une teneur en argent de 12,5 µg et dans le cas des nanoparticules triangulaires tronquées, l'inhibition bactérienne a été observée à une teneur en argent de 1 µg. Lorsque la croissance des bactéries sur des plaques d'agar nutritif a été observée, les nanoparticules sphériques ont inhibé la croissance bactérienne à une concentration de nanoparticules d'argent de 6 µg. Dans le cas de nanoparticules triangulaires tronquées, une concentration de 10 µg d'argent entraîne une inhibition de la croissance bactérienne.

Ces résultats ont corroboré que l'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent dépend de la forme. Gong et al. (2007) ont synthétisé des nanoparticules bifonctionnelles Fe3O4@Ag possédant des propriétés super paramagnétiques et antibactériennes et ont montré une excellente activité contre E. coli, S. epidermis et Bacillus subtilis. Les nanoparticules Fe3O4@Ag ont été synthétisées en utilisant la méthode des micelles inverses. Les nanoparticules ont été caractérisées et détectées en utilisant la spectroscopie UV-visible, TEM et XRD. L'activité antibactérienne des nanoparticules Fe3O4@Ag a été déterminée à l'aide de valeurs de concentration minimale inhibitrice (CMI). Trois souches bactériennes E. coli, B. subtilis et S. epidermis ont été utilisées en faisant croître les colonies bactériennes sur du milieu LB à 37 °C jusqu'à atteindre 108 –109 UFC/ml. Soixante- quinze microlitres de suspension bactérienne ont été ajoutés à 15 ml de milieu LB contenant 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70–100 µg/ml de nanoparticules Fe3O4@Ag et incubées à 37 °C sur un agitateur rotatif (200 tr/min) pendant 24 h. La CMI a été déterminée comme la concentration la plus faible lorsque la croissance bactérienne était inhibée. Les valeurs de CMI pour E. coli et B. subtilis se sont avérées être de N70 µg/ml, tandis que S. epidermis a montré N60 µg/ml. L'activité antibactérienne a également été analysée par cytométrie de flux. Les nanoparticules Fe3O4@Ag ont été introduites dans le concentrateur de particules magnétiques et placées dans un champ magnétique pendant 0, 5, 10, 20, 30 min respectivement. Ces nanoparticules ont été vérifiées pour leur propriété magnétique à l'aide d'un magnétomètre à échantillon vibrant (VSM) et ont également été testées pour leur propriété antibactérienne.
Français D'après les tests ci-dessus et la caractérisation des nanoparticules, les auteurs ont conclu que les nanoparticules Fe3O4@Ag synthétisées étaient de forme sphérique avec un diamètre moyen de 60 ± 20 nm, polydispersées et stables, représentaient un superparamagnétisme et pouvaient être séparées de l'eau à l'aide d' un champ magnétique. Les nanoparticules Fe3O4@Ag possédaient une large activité antibactérienne et pouvaient être recyclées en raison de leur superparamagnétisme.
Chopra (2007) a étudié l'utilisation croissante de produits à base d'argent comme agents antimicrobiens, qu'il s'agisse d'une évolution positive ou d'une source de préoccupation, car l'augmentation de l'utilisation de produits à base d'argent peut conduire à une résistance à l'argent. Il a conclu que les pansements à l'argent sont une alternative efficace aux antibiotiques pour le traitement des plaies, mais que les pansements contenant un niveau inférieur d'ions argent peuvent s'avérer problématiques dans un avenir proche en raison du développement d'une résistance. Par conséquent, les cliniciens doivent sélectionner des pansements contenant un niveau élevé d'ions argent pour assurer une activité bactéricide rapide.

Duran et al. (2007) ont étudié la synthèse de nanoparticules d'argent à l'aide de Fusarium oxysporum et l'effet des propriétés antibactériennes des nanoparticules d'argent biosynthétisées lorsqu'elles sont incorporées sur du tissu. F. oxysporum a été utilisé pour la synthèse de nanoparticules d'argent.
Français La culture liquide du champignon a été cultivée sur un extrait de levure à 0,5 % à 28 °C pendant six jours. La biomasse obtenue a été filtrée et remise en suspension dans de l'eau distillée. Le filtrat fongique a été traité avec du nitrate d'argent à 28 °C et conservé pendant plusieurs heures. La synthèse de nanoparticules d'argent a été détectée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis, d'une imagerie TEM et d'une spectroscopie élémentaire. La taille des nanoparticules a été mesurée par DRX. Les tissus de coton de 5 × 5 cm ont été utilisés pour l'imprégnation. Le filtrat final a été préparé par ultra-centrifugation et l'élimination de la moitié du filtrat pour concentrer les nanoparticules d'argent a ensuite été réalisée. Les tissus de coton ont été immergés dans un erlenmeyer contenant des nanoparticules d'argent et conservés sur un agitateur à 600 tr/min pendant 24 h et séchés à 70 °C. Le pourcentage de nanoparticules imprégnées a été mesuré par fluorescence X (XRF). L'efficacité antibactérienne des nanoparticules a été testée en inoculant les tissus de coton sur des plaques d'agar inoculées avec S. aureus et analysée ultérieurement à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) et d'une spectroscopie dispersive en énergie (EDS). Le tissu de coton imprégné d'argent a été lavé plusieurs fois et l' effluent obtenu a été traité avec une suspension de Chromobacterium violaceum (CCT 3496).

Le champignon traité au nitrate d'argent a montré un changement de couleur du jaune pâle au brunâtre. De plus, l'intensité du plasmon de surface a augmenté avec le temps, assurant la formation de nanoparticules d'argent.
Le TEM a révélé la présence de nanoparticules d'argent sphériques. Les techniques spectroscopiques de microscopie électronique à balayage (SEM) et de spectroscopie dispersive en énergie (EDS) ont confirmé que les tissus en coton imprégnés de nanoparticules d'argent possèdent une activité antimicrobienne efficace. Maneerung et al. (2008) ont suggéré une nouvelle technique de préparation de pansements à l'aide de cellulose bactérienne et l'effet antibactérien des nanoparticules d'argent imprégnées sur le pansement. Les nanoparticules d'argent imprégnées de cellulose bactérienne ont démontré une activité antimicrobienne efficace contre E. coli et S. aureus. Castellano et al. (2007) ont évalué certains pansements disponibles dans le commerce contenant de l'argent et leur activité antimicrobienne contre différentes bactéries. Dans la présente étude, l'auteur a testé huit pansements disponibles dans le commerce (Acticoat, Acticoat7, Acticoat Moisture control, Aquagel Ag, Urgotul SSD, ACTISORB, Contreet foam et Silvercel) pour leur activité antibactérienne

Machine Translated by Google

Français contre E. coli, S. aureus, Streptococcus faecalis et P. aeruginosa et l'ont comparé à l'activité antibactérienne de crèmes antimicrobiennes disponibles dans le commerce comme le gel Silvasorb, la crème Silvadene 1 %, Sulfa-mylon et la crème au sulfate de gentamycine 0,1 %. Le test de la zone d'inhibition a démontré une différence considérable entre les efficacités antibactériennes des pansements d'argent pour inhiber la population bactérienne. Parmi tous les pansements et agents non-pansements, les pansements Contreet F et Acticoat ont représenté la plus grande zone d'inhibition. Le test d'analyse quantitative de l'activité antimicrobienne a conclu qu'E. coli était sensible à cinq pansements d'argent, S. faecalis à quatre et S. aureus et P. aeruginosa à deux pansements d'argent. Les crèmes à base d'argent ont montré des propriétés bactéricides et une inhibition bactérienne supérieures à celles des pansements d'argent, prouvant ainsi que les crèmes à base d'argent sont plus efficaces que ces dernières. Jun et al. (2007) ont rapporté que les nanoparticules d'argent imprégnées de nanofibres de poly(alcool vinylique) (PVA) présentent une propriété antibactérienne efficace et peuvent être utilisées pour la préparation de pansements. Des nanoparticules de phosphate de zirconium contenant de l'argent ont été préparées par électrofilage en nanofibres de PVA, qui est un bon matériau de gestion des plaies. Ces nanoparticules chargées d'argent ont été mélangées dans de l'eau distillée, du TritonX-100 et traitées aux ultrasons pendant 1 h. Les nanoparticules ont été ajoutées à 1 % en poids de PVA et pour réduire la tension superficielle des solutions aqueuses de PVA, 1 % en poids de TritonX-100 a été ajouté et la solution préparée a été placée dans une seringue avec le fil positif de l'alimentation électrique (0-30 KV) attaché à l'aiguille de la seringue.

Français L'échantillon a été analysé à l'aide d'une analyse du spectre SEM et des rayons X à dispersion d'énergie (EDX). Les nanofibres électrofilées ont été testées pour leur activité antibactérienne contre E. coli (ATCC25922) et S. aureus (ATCC6538). D'après l'étude SEM et EDX, il a été conclu que les nanofibres étaient uniformes avec un diamètre de 399 nm à 910 nm. Quelques petites particules ont également été observées à la surface des fibres. L'étude EDX a démontré que les nanofibres possédaient de l'argent, qui était dispersé uniformément dans les fibres. Les fibres d'argent ont montré une réduction des bactéries de 97,87 % et 99,12 %, respectivement. Ainsi, on peut conclure que le tissu enduit de nanoparticules d'argent avait une activité antibactérienne efficace et conservait également son aspect physique. Kim et al. (2007) ont rapporté l'utilisation de nanoparticules d'argent pour le contrôle des infections dues à des micro-organismes. Français Les nanoparticules d'argent ont été synthétisées en utilisant 1 mM de nitrate d'argent et 2 mM de borohydrure de sodium. L' efficacité antimicrobienne des nanoparticules d'argent a été testée contre des levures isolées de la mammite bovine, d'E. coli et de S. aureus en utilisant la méthode de diffusion sur disque d'agar modifiée du National Committee for Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI, 2000. Un inoculum de micro-organismes contenant 107 UFC/ml a été inoculé sur des plaques d'agar Mueller-Hinton , puis 20 µl de nanoparticules d'argent ont été étalés à une concentration de 0,2 à 33 nM. Les nanoparticules d'argent ont montré une bande d'absorption à ~391 nm, ce qui est typique des nanoparticules sphériques. La spectroscopie par résonance magnétique (ESR), qui a été réalisée pour mesurer les effets inhibiteurs de la croissance des nanoparticules d'argent sur les micro-organismes, a été réalisée en agrégeant les nanoparticules d'argent à l'aide d'une agitation avec une barre de zinc. La poudre de nanoparticules agrégée a été recueillie et conditionnée dans un tube capillaire en verre. Des études ESR ont montré l'existence de radicaux libres provenant de nanoparticules d'argent, qui pourraient être responsables de l'effet antimicrobien.

La distribution de la forme et de la taille des nanoparticules d'argent a été étudiée à l'aide de la microscopie électronique en transmission (MET), qui a montré la présence de particules monodisperses dans la gamme de taille de 13,5 nm. Les nanoparticules d'argent testées contre les levures et E. coli ont signalé une inhibition bactérienne efficace par rapport à S. aureus en raison de la structure de la membrane.

Kumar et al. (2008) ont étudié une méthode respectueuse de l'environnement pour la synthèse de peinture intégrée aux nanoparticules métalliques à partir d'huile végétale. La peinture présente une excellente activité antimicrobienne contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives et, par conséquent, à l'avenir, cette peinture peut être utilisée comme agent de revêtement antimicrobien efficace pour recouvrir plusieurs surfaces telles que le bois, le verre, les murs, etc. Ingle et al. (2008) ont étudié l'utilisation de Fusarium accumina-

tum, isolé du gingembre infecté, pour la synthèse de nanoparticules d'argent et analysé son activité antimicrobienne contre les bactéries pathogènes humaines. La biomasse fongique a été soumise à une solution aqueuse de nitrate d'argent de telle sorte que la concentration finale de la solution soit de 1 mM. Sa couleur est passée du jaune clair au brun, qui s'est intensifié après 2 h. La détection et la caractérisation des nanoparticules d'argent ont été réalisées à l'aide d' un spectrophotomètre UV-visible et d'un MET. L'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent a été vérifiée contre E. coli, S. aureus, Salmonella typi, S. epidermis en utilisant la méthode de diffusion en puits. Les spectres UV-vis ont montré une absorption à 420 nm, ce qui est caractéristique des nanoparticules sphériques. La forme sphérique des nanoparticules a été confirmée par l'étude MET et la taille des nanoparticules variait de 5 à 40 nm. Français Le mécanisme de réduction des nanoparticules d'argent testé à l'aide du test de nitrate réductase s'est avéré positif, les auteurs ont donc conclu que l'enzyme NADH est responsable de la réduction de l'argent. Les nanoparticules d'argent possèdent des propriétés antibactériennes efficaces, qui se sont avérées 1,4 à 1,9 fois plus fortes que les ions argent. Des travaux similaires ont été rapportés par Gade et al. (2008) en exploitant Aspergillus niger pour la synthèse de nanoparticules d'argent. Le champignon a été isolé du sol et la biomasse fongique a été traitée avec 1 mM de nitrate d'argent et conservée dans un agitateur à 120 tr/min et 25 °C dans l'obscurité. La couleur est passée du jaune au brun foncé. Après 2 h d'incubation, les nanoparticules d'argent ont été détectées à l'aide d' un spectrophotomètre UV-vis tandis que la caractérisation a été effectuée à l'aide d'un MET. L'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent a été évaluée à l'aide de la méthode de test de diffusion en gélose contre E. coli et S. aureus. Les spectres UV-vis ont montré un pic à 420 nm. L'étude TEM des nanoparticules d'argent a confirmé la présence de nanoparticules de forme sphérique dans la gamme de taille de 20 nm. Les nanoparticules d'argent ont montré une activité antibactérienne efficace contre E. coli et S. aureus, qui a également été analysée par TEM. L'étude au microscope électronique a démontré la présence de nanoparticules d'argent dans les membranes cellulaires des bactéries testées.

7. Mécanisme d'action

Le mécanisme d'action exact de l'argent sur les microbes n'est pas encore connu, mais le mécanisme d'action possible de l'argent métallique, des ions argent et des nanoparticules d'argent a été suggéré en fonction des changements morphologiques et structurels observés dans les cellules bactériennes.

7.1. Mécanisme d'action de l'argent

Le mécanisme d'action de l'argent est lié à son interaction avec les composés du groupe thiol présents dans les enzymes respiratoires des cellules bactériennes. L'argent se lie à la paroi et à la membrane cellulaire bactérienne et inhibe le processus de respiration (Klasen, 2000). Dans le cas d'E. coli, l'argent agit en inhibant l'absorption du phosphate et en libérant du phosphate, du mannitol, du succinate, de la proline et de la glutamine des cellules d'E. coli (Rosenkranz et Carr, 1972 ; Bragg et Rainnie, 1974 ; Schreurs et Rosenberg, 1982 ; Haefili et al., 1984 ; Yamanaka et al., 2005).

7.2. Mécanisme d'action des ions argent/AgNO3

Le mécanisme de l'action antimicrobienne des ions argent n'est pas bien compris, mais l'effet des ions argent sur les bactéries peut être observé par les changements structurels et morphologiques. Il est suggéré que lorsque les molécules d'ADN sont dans un état de relaxation, la réplication de l'ADN peut être réalisée efficacement. Mais lorsque l'ADN est sous forme condensée, il perd sa capacité de réplication. Par conséquent, lorsque les ions argent pénètrent à l'intérieur de la cellule bactérienne, la molécule d'ADN se transforme en forme condensée et perd sa capacité de réplication, ce qui entraîne la mort cellulaire.
Il a également été rapporté que les métaux lourds réagissent avec les protéines en se liant au groupe thiol et les protéines sont inactivées (Liau et al., 1997 ; Feng et al., 2000).

Machine Translated by Google

7.3. Mécanisme d'action de la zéolite d'argent

Les ions argent jouent un rôle crucial dans l'activité antibactérienne de la zéolite d'argent. Matsumura et al. (2003) ont rapporté que l'action possible de la zéolite d'argent pourrait être due à l'absorption d'ions argent par les cellules bactériennes lorsqu'elles entrent en contact avec la zéolite d'argent, ce qui inhibe leurs fonctions cellulaires et endommage la cellule. Deuxièmement, cela peut être dû à la génération de molécules d'oxygène réactives, qui inhibent la respiration.

7.4. Mécanisme d'action des nanoparticules d'argent

Les nanoparticules d'argent présentent une propriété antimicrobienne efficace par rapport aux autres sels en raison de leur surface extrêmement grande, qui permet un meilleur contact avec les micro-organismes. Les nanoparticules se fixent à la membrane cellulaire et pénètrent également à l'intérieur des bactéries. La membrane bactérienne contient des protéines contenant du soufre et les nanoparticules d'argent interagissent avec ces protéines dans la cellule ainsi qu'avec les composés contenant du phosphore comme l'ADN. Lorsque les nanoparticules d'argent pénètrent dans la cellule bactérienne, elles forment une région de faible poids moléculaire au centre de la bactérie dans laquelle les bactéries se conglomèrent, protégeant ainsi l'ADN des ions argent. Les nanoparticules attaquent de préférence la chaîne respiratoire, la division cellulaire conduisant finalement à la mort cellulaire. Les nanoparticules libèrent des ions argent dans les cellules bactériennes, ce qui renforce leur activité bactéricide (Feng et al., 2000 ; Sondi et Salopek-Sondi, 2004 ; Morones et al., 2005 ; Song et al., 2006).

8. Effet de la taille et de la forme sur l'activité antimicrobienne des nanoparticules

Français La résonance plasmonique de surface joue un rôle majeur dans la détermination des spectres d'absorption optique des nanoparticules métalliques, qui se déplacent vers une longueur d'onde plus longue avec l'augmentation de la taille des particules. La taille de la nanoparticule implique qu'elle a une grande surface pour entrer en contact avec les cellules bactériennes et donc, elle aura un pourcentage d'interaction plus élevé que les particules plus grosses (Kreibig et Vollmer, 1995 ; Mulvaney, 1996 ; Morones et al., 2005 ; Pal et al., 2007). Les nanoparticules plus petites que 10 nm interagissent avec les bactéries et produisent des effets électroniques, qui améliorent la réactivité des nanoparticules. Ainsi, il est corroboré que l'effet bactéricide des nanoparticules d'argent dépend de la taille (Raimondi et al., 2005 ; Morones et al., 2005).

Français L' efficacité antimicrobienne des nanoparticules dépend également de la forme des nanoparticules, ce qui peut être confirmé en étudiant l'inhibition de la croissance bactérienne par des nanoparticules de formes différentes (Morones et al., 2005). Selon Pal et al. (2007) , les nanoparticules triangulaires tronquées présentent une inhibition bactérienne avec une teneur en argent de 1 µg. Alors que dans le cas des nanoparticules sphériques, une teneur totale en argent de 12,5 µg est nécessaire. Les particules en forme de bâtonnet nécessitent une teneur totale en argent de 50 à 100 µg. Ainsi, les nanoparticules d'argent de différentes formes ont des effets différents sur les cellules bactériennes.

9. Utilisation de nanoparticules d'argent pour l'imprégnation

9.1. Dispositifs médicaux recouverts d'argent

Les nanoparticules d'argent sont également considérées comme candidates pour le revêtement des dispositifs médicaux. Les dispositifs médicaux recouverts d'ions argent ou d'argent métallique se sont révélés décevants lors des tests cliniques. La raison en est peut-être l'inactivation de l'argent métallique lorsqu'il entre en contact avec le plasma sanguin et le manque de durabilité des revêtements. L'argent métallique n'a pas non plus réussi à améliorer l'activité antimicrobienne (Riley et al., 1995, Everaet et al., 1998). Furno et al. (2004) ont démontré l'utilisation de nanoparticules d'argent pour l'imprégnation de dispositifs médicaux polymères afin d'augmenter leur efficacité antimicrobienne. Des disques de silicium de 0,45 mm d'épaisseur ont été utilisés comme biomatériau pour l'imprégnation, l'argent

Français Les nanoparticules ont été synthétisées dans des conditions anaérobies et la formation de nanoparticules a été confirmée par MET. Staphylococcus epidermis a été utilisé comme bactérie d'essai avec un nombre de cellules correspondant à 1 × 108 UFC/ml. Les disques imprégnés de nanoparticules d'argent ont été divisés en deux ensembles, lavés et non lavés et immergés dans 50 % de plasma humain. De la même manière, le test de transfert en série sur plaque (SPTT) a été réalisé en divisant les disques imprégnés en deux ensembles, puis introduits sur des plaques de gélose tryptone soja (TSA) inoculées avec S. epidermis F22 et incubées pendant une nuit. La zone d'inhibition a été enregistrée et les disques imprégnés ont été retirés et transférés sur des plaques de gélose fraîches. Les disques imprégnés de nanoparticules d'argent ont également été inoculés avec une culture en suspension de S. epidermis pour mesurer le taux de destruction des bactéries à l'aide du nombre de plaques et de la chimioluminescence. Français À cette fin, quatre jeux de disques constitués de disques lavés et non lavés ont été immergés dans de l'eau distillée stérile ou du plasma humain à 50 % pendant 24 h pour mesurer la libération d'ions argent. Dans le test SPTT, le jeu de disques non lavés a montré une activité antibactérienne pendant 10 jours avec une moyenne de 8,5 mm tandis que, dans le cas des disques lavés, la zone d'inhibition n'a pas été observée même pendant un jour. Dans le test d'adhérence, pour le taux de destruction des bactéries, il y avait une nette différence entre le jeu de disques lavés et non lavés. Dans le cas des disques non lavés, aucune bactérie viable n'a été trouvée adhérant au disque après 1 h et il y a eu une baisse de viabilité sur une période de 5 h, qui a été représentée par chimioluminescence. Dans le test de libération d'ions argent, il a été constaté qu'une plus grande quantité d'ions argent était libérée dans le plasma que dans l'eau déionisée sur une période de 3 jours. Le 4e et le 5e jour, une quantité importante d'ions argent a également été libérée. En outre, Furno et al. (2004) ont utilisé diverses méthodes pour tester l' efficacité des nanoparticules d'argent imprégnées sur un élastomère de silicone. Cependant, il a été constaté que l' efficacité antibactérienne des nanoparticules d'argent diminue après le lavage. Les nanoparticules d'argent peuvent être utilisées pour l'imprégnation de dispositifs médicaux et conduisent à une activité antimicrobienne prometteuse. Les nanoparticules d'argent sont utilisées pour le revêtement de masques chirurgicaux (Li et al., 2006). L'avantage de l'imprégnation des dispositifs médicaux avec des nanoparticules d'argent est qu'elle protège à la fois les surfaces extérieures et intérieures des dispositifs et qu'il y a une libération continue d'ions argent fournissant une activité antimicrobienne (Wilcox et al., 1998 ; Darouiche et al., 1999).

9.2. Pansements à l'argent

Les pansements jouent un rôle majeur dans la gestion des plaies (Leaper, 2006). Ces derniers temps, le développement de souches résistantes de pathogènes est devenu un problème majeur et les pansements nouvellement conçus ont constitué une avancée majeure dans le traitement des infections et des plaies. Les propriétés antibactériennes et la toxicité de l'argent pour les micro-organismes sont bien connues, c'est pourquoi, de nos jours, l'argent est utilisé dans différents types de formulations comme les agents de revêtement de surface, les pansements pour plaies, etc. (Duran et al., 2007). Les pansements à l'argent utilisent des systèmes de distribution qui libèrent l'argent à différentes concentrations. Mais différents facteurs comme la distribution de l'argent dans le pansement, sa forme chimique et physique, l'affinité du pansement à l'humidité influencent également la destruction des micro-organismes (Chopra, 2007).

9.3. Tissus textiles enduits d'argent

Au cours des dernières décennies, les chercheurs se sont intéressés au développement de tissus textiles contenant des agents antibactériens. Comme l'argent n'est pas toxique et possède des propriétés antimicrobiennes, les chercheurs ont encouragé les chercheurs à utiliser des nanoparticules d'argent dans différents tissus textiles. Dans cette optique, des fibres nanocomposites d'argent ont été préparées contenant des nanoparticules d'argent incorporées à l'intérieur du tissu, mais à partir de l'étude au microscope électronique à balayage, il a été conclu que les nanoparticules d'argent incorporées dans la partie gaine des tissus possédaient une propriété antibactérienne significative par rapport aux tissus incorporés avec des nanoparticules d'argent dans la partie centrale (Yeo et Jeong, 2003). Des résultats similaires ont été obtenus en utilisant des nanoparticules d'argent sur

Machine Translated by Google

non-tissés en polyester. Il a également été signalé que les tissus textiles recouverts de nanoparticules d'argent possèdent une activité antibactérienne contre S. aureus (Duran et al., 2007).

9.4. Toxicité de l'argent

La toxicité de l'argent est observée sous forme d'argyrie, uniquement en cas de plaie ouverte de grande taille et d'utilisation d'une grande quantité d'ions argent pour le pansement. Il n'existe pas de rapports réguliers d'allergie à l'argent (Leaper, 2006).
Français Les nanoparticules d'argent sont considérées comme non toxiques dans la plupart des études. Mais en raison de leur petite taille et de leurs propriétés variables, elles sont considérées comme dangereuses pour l'environnement (Braydich-Stolle et al., 2005). Hussain et al. (2005) ont étudié la toxicité de différentes tailles de nanoparticules d'argent sur une lignée cellulaire de foie de rat (BRL 3A) (ATCC, cellules hépatiques de rat immortalisées CRL-1442). Les auteurs ont constaté qu'après une exposition de 24 h, les cellules mitochondriales présentaient une taille anormale, un rétrécissement cellulaire et une forme irrégulière. Une étude de cytotoxicité de cinq pansements disponibles dans le commerce imprégnés de nanoparticules d'argent a été entreprise par Burd et al. (2007). Dans l'étude, il a été constaté que trois des pansements d'argent présentaient des effets de cytotoxicité dans les cultures de kératinocytes et de fibroblastes. (2005) ont rapporté la toxicité des nanoparticules d'argent sur les cellules C18-4, une lignée cellulaire présentant des caractéristiques de cellules souches spermatogoniales. L'étude a permis de conclure que la cytotoxicité des nanoparticules d'argent sur l'activité mitochondriale augmentait avec l'augmentation de la concentration de nanoparticules d'argent.

D'après les études ci-dessus, on peut conclure que l'utilisation de nanoparticules dans les applications biomédicales et thérapeutiques a ouvert un large champ à la nanotechnologie dans des domaines comme l'électronique, l'ingénierie, la médecine, etc. mais les effets secondaires possibles des nanoparticules n'ont pas été beaucoup étudiés, par conséquent, une étude détaillée doit être menée avant l'introduction de produits liés à la nanomédecine sur le marché (Oberdorster et al., 2005).

10. Applications

L'argent est connu pour posséder de fortes propriétés antimicrobiennes à la fois sous sa forme métallique et nanoparticulaire, il a donc trouvé une variété d'applications dans différents domaines.

- Les nanoparticules d'argent attachées au Fe3O4 peuvent être utilisées pour le traitement de l'eau et facilement éliminées à l'aide d' un champ magnétique pour éviter la contamination de l'environnement (Gong et al., 2007). • La sulfadazine d'argent présente une meilleure cicatrisation des brûlures en raison de sa réaction lente et régulière avec le sérum et d'autres fluides corporels (Fox et Modak, 1974).

- Les pansements, crèmes et gels à base d'argent nanocristallin réduisent efficacement les infections bactériennes dans les plaies chroniques (Richard et al., 2002 ; Leaper, 2006 ; Ip et al., 2006). Les nanoparticules d'argent contenant des nanofibres de polyvinyle présentent également des propriétés antibactériennes efficaces en tant que pansement pour plaies (Jun et al., 2007).
- Les nanoparticules d'argent présentent une meilleure capacité de cicatrisation des plaies, une meilleure apparence esthétique et une cicatrisation sans cicatrice lorsqu'elles sont testées sur un modèle animal (Tian et al., 2006). • Les dispositifs médicaux imprégnés d'argent comme les masques chirurgicaux et les dispositifs implantables présentent une efficacité antimicrobienne significative (Furno et al., 2004). • Une nanopeinture antimicrobienne respectueuse de l'environnement peut être développée (Kumar et al., 2008). • Les composites inorganiques sont utilisés comme conservateurs dans divers produits (Gupta et Silver, 1998). • Des microsphères de gel de silice mélangées à du thiosulfate de silice sont utilisées pour une activité antibactérienne de longue durée (Gupta et Silver, 1998). • Traitement des brûlures et de diverses infections (Feng et al., 2000). • La zéolite d'argent est utilisée dans la conservation des aliments, la désinfection et la décontamination des produits (Matsuura et al., 1997 ; Nikawa et al., 1997). • Les nanoparticules d'argent peuvent être utilisées pour la filtration de l'eau (Jain et Pradeep, 2005).

11. Conclusion et perspectives d'avenir

En résumé, on peut conclure que parmi les différents agents antimicrobiens, l'argent a été le plus étudié et utilisé depuis l'Antiquité pour lutter contre les infections et prévenir la détérioration. Les propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales des ions argent, des composés d'argent et des nanoparticules d'argent ont été largement étudiées. L'argent s'avère également non toxique pour l'homme à des concentrations infimes. Il est peu probable que les micro-organismes développent une résistance à l'argent par rapport aux antibiotiques, car l'argent attaque un large éventail de cibles dans les microbes.

Les nanoparticules d'argent, avec leurs propriétés chimiques et physiques uniques, se révèlent être une alternative pour le développement de nouveaux agents antibactériens. Les nanoparticules d'argent ont également trouvé diverses applications sous forme de pansements, de revêtements pour dispositifs médicaux, de tissus textiles imprégnés de nanoparticules d'argent, etc. L'avantage de l'utilisation de nanoparticules d'argent pour l'imprégnation est qu'il y a une libération continue d'ions argent et que les dispositifs peuvent être recouverts à la fois par la face externe et par la face interne, ce qui améliore leur efficacité antimicrobienne. Les brûlures traitées avec des nanoparticules d'argent présentent un meilleur aspect esthétique et une cicatrisation sans cicatrice.

Ainsi, on peut conclure que l'argent métallique est utilisé depuis l'Antiquité. Cependant, avec l'avènement des nanoparticules d'argent et son utilisation majeure comme agent antimicrobien, de nombreux essais expérimentaux sont nécessaires pour comprendre la toxicité. Certaines questions doivent être abordées, telles que le mécanisme exact d'interaction des nanoparticules d'argent avec les cellules bactériennes, la manière dont la surface des nanoparticules influence son activité destructrice, l'utilisation de modèles animaux et d'études cliniques pour mieux comprendre l' efficacité antimicrobienne des pansements à l'argent, la toxicité éventuelle des pansements à l'argent, etc.

Références

Ahmad Z, Pandey R, Sharma S, Khuller GK. Nanoparticules d'alginate comme vecteurs de médicaments antituberculeux : développement de formulation, pharmacocinétique et potentiel thérapeutique. Ind J Chest Dis Allied Sci 2005;48:171–6.

Albrecht MA, Evan CW, Raston CL. Chimie verte et implications pour la santé nanoparticules. Green Chem 2006;8:417–32.

Atiyeh BS, Costagliola M, Hayek SN, Dibo SA. Effet de l'argent sur le contrôle de l'infection et la cicatrisation des plaies de brûlure : revue de la littérature. Burn 2007;33:139–48.

Baker C, Pradhan A, Pakstis L, Pochan DJ, Shah SI. Synthèse et propriétés antibactériennes de nanoparticules d'argent. J Nanosci Nanotechnol 2005:244–9 (2).

Bellinger CG, Conway H. Effets du nitrate d'argent et du sulfamylon sur les cellules épithéliales régénération. Plast Reconstr Surg 1970;45:582–5.

Bragg PD, Rainnie DJ. L'effet de l'ion argent sur la chaîne respiratoire d'Escherichia coli. Can J Microbiol 1974;20:883–9.

Braydich-Stolle L, Hussain S, Schlager J, Hofmann MC. Cytotoxicité in vitro des nanoparticules dans les cellules souches de la lignée germinale de mammifères. Toxicol Sci 2005 ; 88 : 412–9.

Burd A, Kwok CH, Hung SC, Chan HS, Gu H, Lam WK, et al. Étude comparative de la cytotoxicité des pansements à base d'argent dans des modèles de cellules monocouches, d'explants tissulaires et d'animaux. Wound Repair Regen 2007;15:94-104.

Butkus MA, Labare MP, Starke JA, Moon K, Talbot M. Utilisation d'argent aqueux pour améliorer l'inactivation du coliphage MS-2 par désinfection UV. Appl Environ Microbiol 2004;70(5): 2848–53.

Castellano JJ, Shafii SM, Ko F, Donate G, Wright TE, Mannari RJ et al. Évaluation comparative des pansements et médicaments antimicrobiens contenant de l'argent. Int Wound J 2007;4(2):114-22.

Chopra I. L'utilisation croissante de produits à base d'argent comme agents antimicrobiens : une évolution utile ou une source d'inquiétude ? J Antimicrob Chemother 2007;59:587–90.

Darouiche RO, Raad II, Heard SO, Thornby JI, Wenker OC, Gabrielli A, et al. Comparaison de deux cathéters veineux centraux imprégnés d'antimicrobiens. New Engl J Med 1999;340:1–8.

Demling RH, DeSanti L. Effets de l'argent sur la gestion des plaies. Wounds 2001;13:4.

Duran N, Marcarto PD, De Souza GIH, Alves OL, Esposito E. Effet antibactérien des nanoparticules d'argent produites par un processus fongique sur les tissus textiles et leur traitement des effluents. J Biomed Nanotechnol 2007;3:203–8.

Everaet EPJM, Van de Belt-Gritter B, Van der Mei HC, Busscher HJ, Verkeke GJ, Dijk F, Mahieu HF, Reitsman A. Adhésion et croissance microbiennes in vitro et in vivo sur des prothèses vocales en caoutchouc de silicone traitées au plasma d'argon. J Mat Sci-Mat en Méd. 1998 ; 9 : 147-57.

Feng QL, Wu J, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO. Étude mécaniste de l'effet antibactérien des ions argent sur Escherichia coli et Staphylococcus aureus. J Biomed Mater 2000;52(4):662–8.

Conférence Feynman R. au California Institute of Technology ; 1959. 29 décembre.

Fox CL, Modak SM. Mécanisme d'action de la sulfadiazine d'argent sur les infections des plaies de brûlures. Agents antimicrobiens Chemother 1974;5(6):582–8.

Machine Translated by Google

Furno F, Morley KS, Wong B, Sharp BL, Arnold PL, Howdle SM. Nanoparticules d'argent et dispositifs médicaux polymères : une nouvelle approche pour la prévention des infections ? J Antimicrob Chemother 2004 ; 54 : 1019–24.

Gade AK, Bonde P, Ingle AP, Marcato PD, Duran N, Rai MK. Exploitation d'Aspergillus niger pour la synthèse de nanoparticules d'argent. J Biob Mater Bioener 2008;2(3):1–5.

Gemmell CG, Edwards DI, Frainse AP. Lignes directrices pour la prophylaxie et le traitement des infections à Staphylococcus aureus résistant à la méthicilline (SARM) au Royaume-Uni. J Antimicrob Chemother 2006 ; 57 : 589–608.

Gong P, Li H, He X, Wang K, Hu J, Tan W, et al. Préparation et activité antibactérienne de Nanoparticules de Fe3O4@Ag . Nanotechnology 2007;18:604–11.

Gu H, Ho PL, Tong E, Wang L, Xu B. Présentation de la vancomycine sur des nanoparticules pour améliorer les activités antimicrobiennes. Nano Lett 2003;3(9):1261–3.

Gupta A, Silver S. L'argent comme biocide : la résistance deviendra-t-elle un problème ? Nat Biotechnol, 1998;16:888.

Haefili C, Franklin C, Hardy K. Résistance à l'argent déterminée par plasmide chez Pseudomonas stutzeri isolé d'une mine d'argent. J Bacteriol 1984;158:389–92.

Hugo WB, Russell AD. Types d'agents antimicrobiens. Dans : Principes et pratique de la désinfection, de la conservation et de la stérilisation. Oxford, Royaume-Uni : Blackwell Scientific Publications ; 1982. p. 106. 8.

Hussain S, Hess K, Gearhart J, Geiss K, Schlager J. Toxicité in vitro des nanoparticules dans les cellules hépatiques de rat BRL3A. Toxicol In vitro 2005;19:975–83.

Ingle A, Gade A, Pierrat S, Sonnichsen C, Rai M. Mycosynthèse de nanoparticules d'argent à partir du champignon Fusarium acuminatum et son activité contre certaines bactéries pathogènes humaines. Curr Nano 2008;4:141–4.

Ip M, Lui SL, Poon VKM, Lung I, Burd A. Activités antimicrobiennes des pansements à l'argent : une comparaison in vitro. J Med Microbiob 2006;55:59–63.

Jain P, Pradeep T. Potentiel de la mousse de polyuréthane recouverte de nanoparticules d'argent comme filtre à eau antibactérien. Biotechnol Bioeng 2005;90(1):59–63.

Jun J, Yuan-Yuan D, Shao-hai W, Shao-feng Z, Zhong-yi W. Préparation et caractérisation de nanofibres antibactériennes contenant de l'argent pour des applications de pansements. J US-China Med Sci 2007;4(2):52–4.

Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M, Uchida M. Effet antibactérien de la zéolite d'argent sur les bactéries buccales dans des conditions anaérobies. Dent Mater 2000;16:452–5.

Kazachenko AS, Legler TAV, Peryanova TOV, Vstavskaya YA. Synthèse et activité antimicrobienne de complexes d'argent avec l'histidine et le tryptophane. Pharm Chem J 2000;34(5): 34–5.

Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, Park SJ, Lee HJ, et al. Effets antimicrobiens de l'argent nanoparticules. Nanomed Nanotechnol Biol Med 2007;3:95-101.

Klasen HJ. Une revue historique de l'utilisation de l'argent dans le traitement des brûlures. Première partie utilisations. Burns 2000;30:1–9.

Kourai H, Manabe Y, Yamada Y. Mode d'action bactéricide des céramiques à base de phosphate de zirconium contenant des ions argent dans la structure cristalline. J Antibact Antifungal Agents 1994;22:595–601.

Kreibig U, Vollmer M. Propriétés optiques des agrégats métalliques. Berlin, Allemagne : Springer ; 1995.

Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G. Peintures antimicrobiennes à base d'huile végétale contenant des nanoparticules d'argent. Nature Materials 2008;7(3):236–41.

Leaper DL. Pansements à l'argent : leur rôle dans la gestion des plaies. Int Wound J 2006;3(4) : 282–94.

Landsdown ABG. Silver I : ses propriétés antibactériennes et son mécanisme d'action. J Wound Care 2002 ; 11 : 125–38.

Li Y, Leung P, Song QW, Newton E. Effets antimicrobiens des masques chirurgicaux enduits de nanoparticules. J Hosp Infect 2006;62:58–63.

Liau SY, Read DC, Pugh WJ, Furr JR, Russell AD. Interaction du nitrate d'argent avec des groupes facilement identifiables : relation avec l'action antibactérienne des ions argent. Lett Appl Microbiol 1997;25:279–83.

Maneerung T, Tokura S, Rujiravanit R. Imprégnation de nanoparticules d'argent dans la cellulose bactérienne pour pansement antimicrobien. Carbo Poly 2008;72(1):43–51.

Maple PAC, Hamilton-Miller JMT, Brranfltt W. Comparaison des activités in vitro des antimicrobiens topiques azélaïque et nitroforazone, sulfadiazine d'argent et mupirocine contre Staphylococcus aureus résistant à la méthcilline. J Antimicrob Che-mother 1992;29:661–8.

Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki SI, Tsuchido T. Mode d'action bactéricide de la zéolite d'argent et sa comparaison avec celle du nitrate d'argent. Appl Environ Microbiol 2003;69(7):4278–81.

Matsuura T, Abe Y, Sato K, Okamoto K, Ueshige M, Akagawa Y. Effet antimicrobien prolongé des conditionneurs tissulaires contenant de la zéolite d'argent. J Dent 1997;25:373–7.

Mcdonnell G, Russell D. Antiseptiques et désinfectants : activité, action et résistance. Clin Microbiol Rev 1999;12(1):147–79.

Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Ramirez JT. L'effet bactéricide de l'argent nanoparticules. Nanotechnology 2005;16:2346–53.

Moyer CA, Brentano L, Gravens DL, Margraf HW, Monafo WW. Traitement des brûlures humaines de grande taille avec une solution de nitrate d'argent à 0,5 %. Arch Surg 1965 ; 90 : 812–67.

Mulvaney P. Spectroscopie de plasmons de surface de particules métalliques de taille nanométrique. Langmuir 1996 ; 12 : 788–800.

Nikawa H, Yamamoto Hamada T, Rahardjo MB, Murata Nakaando S. Effet antifongique d'un conditionneur tissulaire incorporé à la zéolite contre la croissance de Candida albicans et/ou la production d'acide. J Oral Rehabil 1997;25:30-357.

Oberdorster G, Oberdorster E, Oberdorster J. Nanotoxicologie : une discipline émergente issue de l'étude des particules ultrafines. Environ Heal Perspect 2005;113(7): 823–939.

Pal S, Tak YK, Song JM. L'activité antibactérienne des nanoparticules d'argent dépend-elle de la forme de la nanoparticule ? Une étude de la bactérie Gram-négative Escherichia coli. Appl Environ Microbiol 2007;27(6):1712–20.

Panacek A, Kvitek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizurova N, et al. Nanoparticules colloïdales d'argent : synthèse, caractérisation et leur activité antibactérienne. J Phys Chem 2006;110(33):16248–53.

Raimondi F, Scherer GG, Kotz R, Wokaun A. Nanoparticules dans les technologies énergétiques : exemples d'électrochimie et de catalyse. Angew. Chem., Int. Ed. 2005;44:2190–209.

Retchkiman-Schabes PS, Canizal G, Calf-Blacksmith R, Zorrilla C, Liu HB, Ascension JA. Biosynthèse et caractérisation de nanoparticules bimétalliques Ti/Ni. Opt. Mater. 2006;29:95–9.

Richard JW, Spencer BA, McCoy LF, Carina E, Washington J, Edgar P, et al. Acticoat versus Silverlon : la vérité. J Burns Surg Wound Care 2002;1:11–20.

Riley DK, Classen DC, Stevens LE, Burke JP. Un essai clinique randomisé à grande échelle d'un cathéter urinaire imprégné d'argent : manque d' efficacité et surinfection staphylococcique. Am J Med 1995 ; 98 : 349-56.

Rosenkranz HS, Carr HS. Sulfadazine d'argent : effet sur la croissance et le métabolisme bactéries. Agents antimicrobiens Chemother 1972;5:199–201.

Schreurs WJA, Rosenberg H. Effet des ions argent sur le transport et la rétention du phosphate par Escherichia coli. J Bacteriol 1982;152(1):7-13.

Shahverdi AR, Fakhimi A, Shahverdi HR, Minaian S. Synthèse et effet des nanoparticules d'argent sur l'activité antibactérienne de différents antibiotiques contre Staphylococcus aureus et Escherichia coli. Nanomed : Nanotechnol. Biol Med 2007;3 (2):168–71.

Shrivastava S, Bera T, Roy A, Singh G, Ramachandrarao P, Dash D. Caractérisation des effets antibactériens renforcés des nouvelles nanoparticules d'argent. Nanotechnology 2007;18:103–12.

Sondi I, Salopek-Sondi B. Les nanoparticules d'argent comme agent antimicrobien : une étude de cas sur E. coli comme modèle pour les bactéries à Gram négatif. J Colloid Interface 2007 ; 275 : 177–82.

Song HY, Ko KK, Oh LH, Lee BT. Fabrication de nanoparticules d'argent et leur mécanismes antimicrobiens. Eur Cells Mater 2006;11:58.

Spacciapoli P, Buxton D, Rothstein D, Friden P. Activité antimicrobienne du nitrate d'argent contre les agents pathogènes parodontaux. J Periodontal Res 2001;36(2):108–13.

Taniguchi N. Sur le concept de base de la nanotechnologie. Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, partie II. Japan Society of Precision Engineering; 1974.

Tian J, Wong KKY, Ho CM, Lok CN, Yu WY, Che CM, Chiu JF, Tam PKH. L'administration topique de nanoparticules d'argent favorise la cicatrisation des plaies. Chem Med Chem 2006;00:171–80.

Wilcox M, Kite P, Dobbins B. Cathéters intravasculaires antimicrobiens : quelle surface revêtir ? J Hospital Infec 1998;40:322–3.

Yamanaka M, Hara K, Kudo J. Actions bactéricides d'une solution d'ions argent sur Escherichia coli, étudiées par microscopie électronique à transmission à filtrage d'énergie et analyse protéomique. Appld Env Microbiol 2005;71(11):7589–93.

Yeo SY, Jeong SH. Préparation et caractérisation de fibres nanocomposites polypropylène/argent . Polymer International 2003;52:1053.