

〈原 著〉

銀メッキナイロン繊維布による抗菌効果

糠信 憲明¹⁾・田爪 正氣¹⁾・築地 真実²⁾・相川 浩幸³⁾・浅見 聡⁴⁾*Antibacterial Effects of Silver-coated Nylon Fiber Clothes*Noriaki NUKANOBU¹⁾, Seiki TAZUME¹⁾, Mami TSUKIJI²⁾,
Hiroyuki AIKAWA³⁾, and Satoshi ASAMI⁴⁾¹⁾Tokai University School of Health Sciences,²⁾Kanagawa Prefectural College of Medical Technology,³⁾Department of Environmental Health, Tokai University School of Medicine,⁴⁾Department of Occupational Health and Toxicology, Kitasato University School of Allied Health Sciences

要 旨

院内感染予防対策の一環として、抗菌加工製品の使用が広がっている。我々は静電気防止対策として開発された銀メッキナイロン繊維布の各種微生物に対する抗菌効果を検討した。

1) 銀メッキナイロン繊維布に接触させた6種類の供試菌(標準株の *K. pneumoniae* ATCC13883, *C. albicans* ATCC10259, *E. coli* ATCC25922, *S. aureus* ATCC25923 および臨床分離株の methicillin-resistant *S. aureus*, *P. aeruginosa*)の生菌数は接触時間の経過とともに減少した。この結果から、この実験に用いた銀メッキナイロン繊維布の抗菌作用が示唆された。

2) 人工汗、蒸留水およびPBS中に銀メッキナイロン繊維布を浸漬させ銀濃度を定量した結果、各溶液中に溶出された銀は時間の経過とともに増量傾向を示した。また、人工汗中に溶出された銀は蒸留水、PBSに比して高い結果が得られた。

3) 銀濃度を定量した結果から一定濃度(1 ppm および 5 ppm)における硝酸銀溶液の抗菌効果を検討した。硝酸銀溶液による抗菌効果は銀メッキナイロン繊維布と比較して、抗菌開始時間および抗菌に要する時間が遅延傾向を示していた。

4) 銀メッキナイロン繊維布の抗菌作用と各溶液中に溶出された銀との関係から、この繊維布の抗菌作用は経時的に溶出される銀の増量により発揮されると推察される。

Key words : 院内感染, 銀メッキ繊維布, 抗菌作用

はじめに

我が国では医療における延命技術の進歩および急速な社会の高齢化により、病院や老人保健施設内に易感染性宿主が増え、抵抗力の減弱に伴って起こる日和見感染症が増加している¹⁾。そのため易感染状態の宿主に対する感染予防対策は、医療費の増加防止とも関連し重要な課題となっている²⁾。また一方では、感染症の治療における広域抗菌剤の汎用に起因する多剤耐性菌が出現し、特にセフェム系をはじめ多くの抗菌剤に耐性を示す

methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)による感染症は院内感染として社会問題にもなっている³⁾。院内感染の主な感染経路は医療従事者の手指や医療器具を介していることが多く⁴⁻⁶⁾、また患者が使用して湿っているリネンや血液・体液・排泄物で汚染されたリネン類などの繊維製品が媒介として起こる感染も少なくない⁷⁻⁹⁾。

そこで繊維製品が媒介とする院内感染を減少させるために、主に院内感染および日和見感染の起因菌となる微生物を用いて、静電気防止対策として開発された銀メッキナイロン繊維で織られた布の抗菌効果について検討した。

¹⁾東海大学 健康科学部, ²⁾神奈川県立衛生技術短期大学, ³⁾東海大学医学部環境保健学部門, ⁴⁾北里大学医療衛生学部産業保健学教室

材料と方法

1. 使用布

試験布は銀メッキナイロン繊維 X-static (Sauquoit Industries, Inc., USA)の混率 100% (銀メッキ処理ナイロン繊維 100 : 銀メッキ非処理ナイロン繊維 0), 混率 10% (10 : 90)で織られた布(三ツ富士繊維工業株式会社, 京都), および対照として銀メッキ非処理ナイロン繊維布を用いた.

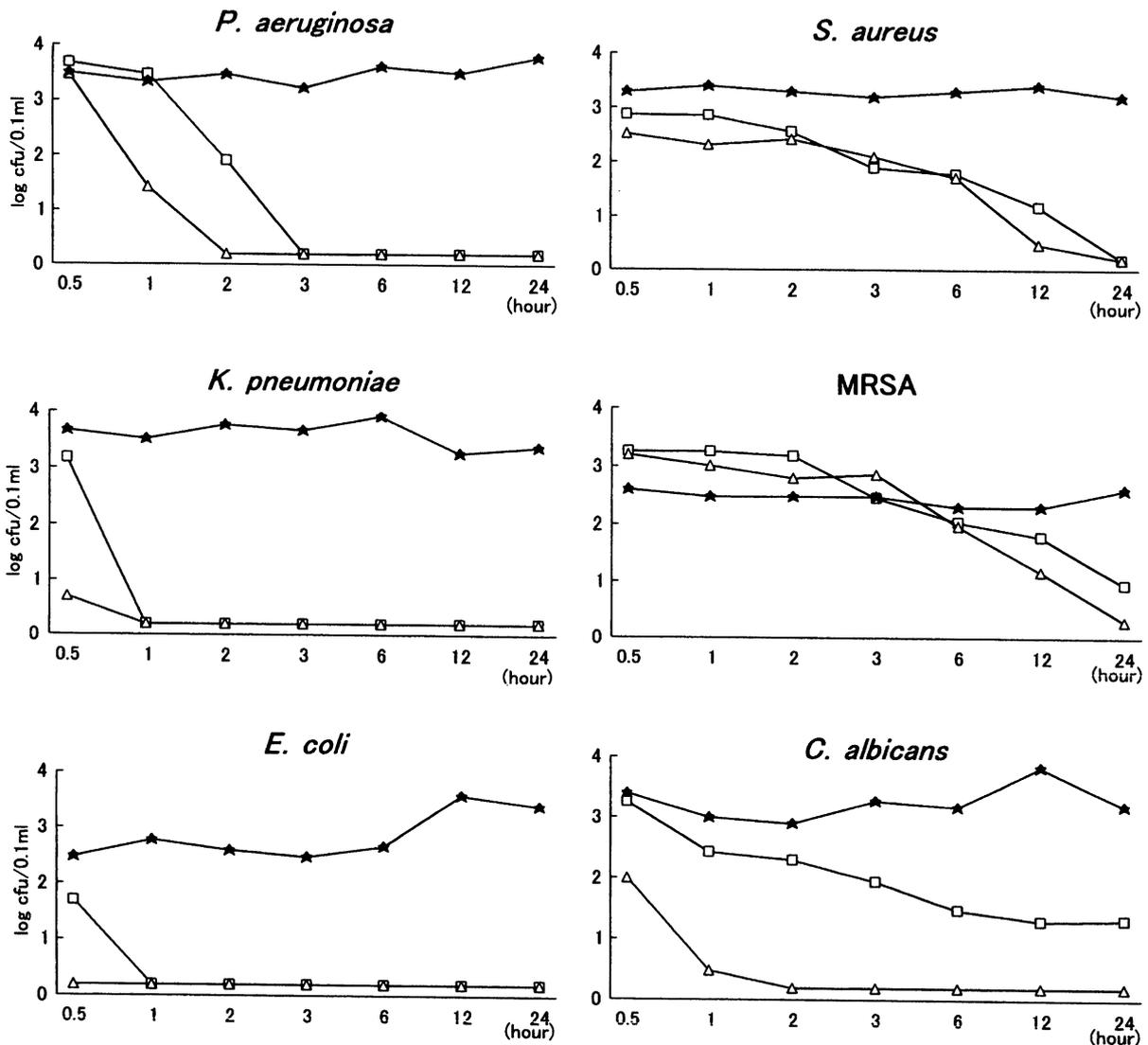
2. 供試菌

実験に使用した微生物は標準株の *Klebsiella pneumoniae* ATCC13883, *Candida albicans* ATCC10259, *Escherichia coli* ATCC25922, *Staphylococcus aureus* ATCC25923 および臨床分離株の MRSA, *Pseudomonas*

aeruginosa の 6 菌種である.

3. 銀メッキナイロン繊維布による抗菌試験

C. albicans はサブロー液体培地 (Difco, USA), その他の細菌はハートインフュージョン液体培地 (Difco) を用いて 37°C, 20 時間培養後, 滅菌磷酸緩衝化生理的食塩水 (PBS) で菌数を 10^5 colony forming unit (cfu)/ml に調整して実験に用いた. 試験布および対照布は撥水性をなくすため洗濯後, 2 cm 角の小片に切断し, 121°C, 15 分間高圧蒸気滅菌を行った. 滅菌された試験布および対照布をそれぞれ滅菌シャーレに入れ, 調整した菌液 0.1 ml を滴下し, 湿潤箱にいれ 37°C の孵卵器に静置した. その小片を経時的に取り出し, 試験管ミキサー (2500 rpm) を用いて, PBS 1 ml 中に振り出し, この菌



★-★: 対照布, □-□: 10% 銀メッキ繊維布, △-△: 100% 銀メッキ繊維布
検体数 (n=5) の平均値

図1 銀メッキナイロン繊維布の抗菌効果

液を10倍段階希釈して、希釈液0.1mlを普通寒天培地(Difco)またはサブロー寒天培地(Difco)上に塗抹し、37℃、20~48時間培養後、生菌数の測定を行った。

4. 銀濃度の定量

臨床の場合においては、リネン類に患者の汗や体液が付着すると考えられ、汗中に溶出する銀濃度を定量するために希釈液の一つとして、人工的に汗を調製した。人工汗¹⁰⁾：100ml中の組成(NaCl 163.9mg, KCl 38.0mg, CaCl₂ 5.6mg, NaHCO₃ 16.5mg, H₂NCONH₂ 70.0mg, CH₃CH(OH)COOH 0.43ml, 25%NH₃溶液 0.55ml, 6N-HCl 3.5ml：pH 5.6)。人工汗、PBS (pH 7.2)および蒸留水10ml中に銀メッキナイロン繊維布の小片(4cm角)を浸漬させ37℃の恒温槽に静置した。経時的に小片を取り出した後の浸出液1mlを湿式灰化後、偏光ゼーマン型原子吸光度計(日立180/80型)を用いて(光源ランプ：HCランプ、電流値；7.5mA、波長；328.1nm、スリット幅2.6nm)銀濃度を定量した。各試料中における銀濃度の定量は原子吸光用銀標準液(Merck, USA)から0.1, 0.25, 0.5, 1.0μg/mlの溶液を調整後、検量線を作成して求めた。

4. 硝酸銀による抗菌試験

銀濃度を定量した結果から、各希釈液による硝酸銀溶液の抗菌効果を検討した。1,000ppmの硝酸銀溶液(和光純薬工業、大阪)を人工汗、PBSおよび滅菌蒸留水で1ppm(=1μg/ml)、5ppmに希釈した後、10mlずつ滅菌試験管に分注し、10⁶cfu/mlに調整した供試菌0.1mlを滴下した。経時的に0.1mlずつ取り出し、普通寒天培地またはサブロー寒天培地上に塗抹し、37℃、20~48時間培養後、生菌数の測定を行った。

成 績

1. 銀メッキナイロン繊維布による抗菌効果

(図1)は混率10%および100%の銀メッキナイロン繊維布における各供試菌の生菌数を経時的に平板塗抹培養法により検討した成績である。混率10%および100%の銀メッキナイロン繊維布に添加された*E. coli*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*の生菌数は急激に減少し、接触時間1~3時間で検出限界以下となった。*C. albicans*の生菌数は混率100%の銀メッキナイロン繊維布では接触時間2時間で検出限界以下となった。しかし混率10%では時間の経過とともに減少傾向は認められたものの、接触時間24時間でも検出限界以下にはならなかった。混率10%および100%の銀メッキナイロン繊維布に接触した*S. aureus*およびMRSAの生菌数は緩やかな減少傾向を示し、接触時間24時間では検出限界まで減少した。

2. 人工汗、PBS および蒸留水中に溶出される銀濃度

(図2)は混率10%および100%の銀メッキナイロン繊維布の小片を人工汗、PBS および蒸留水中に浸漬し、経時的に銀濃度を定量した結果である。人工汗、PBS および蒸留水中の銀濃度は時間の経過とともに増量傾向を示した。また、混率10%および100%ともに人工汗中に溶出された銀は蒸留水、PBS に比して高い結果が得られた。この要因としては、溶液のpHの違いや人工汗中に含まれるアンモニアが銀の溶出に関与しているものと考えられる。

3. 硝酸銀溶液による抗菌効果

(図3)は銀濃度1ppm および5ppmの硝酸銀溶液による抗菌効果の結果である。なお、*S. aureus*はMRSAと、*K. pneumoniae*は*E. coli*と同様の成績を示したので図を省略した。グラム陰性桿菌である*E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*は銀濃度および硝酸銀希釈液の種類にかかわらず24時間で検出限界以下になった。とくに、*E. coli*と*K. pneumoniae*は6~12時間以内で検

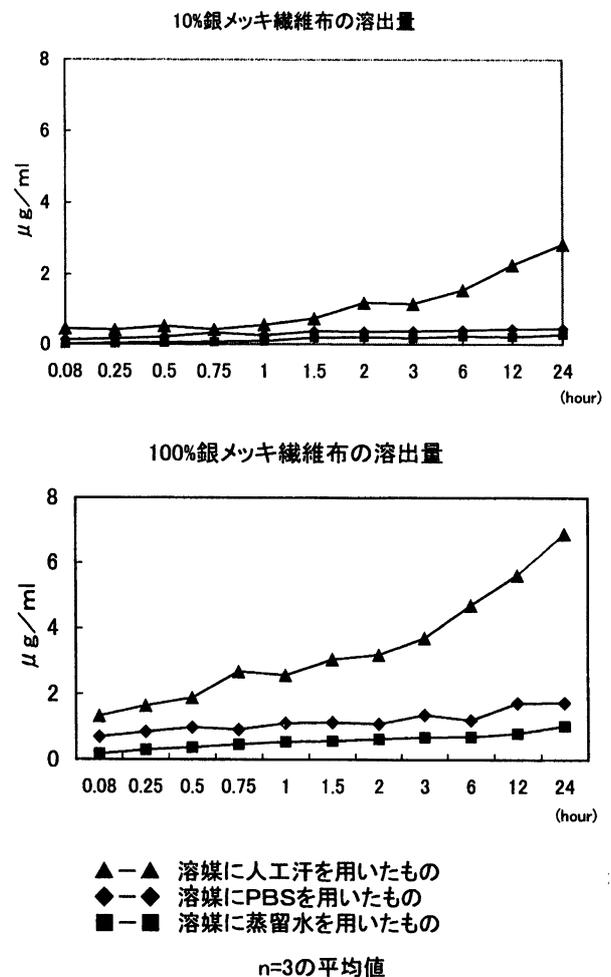


図2 人工汗、PBS、蒸留水における銀溶出量

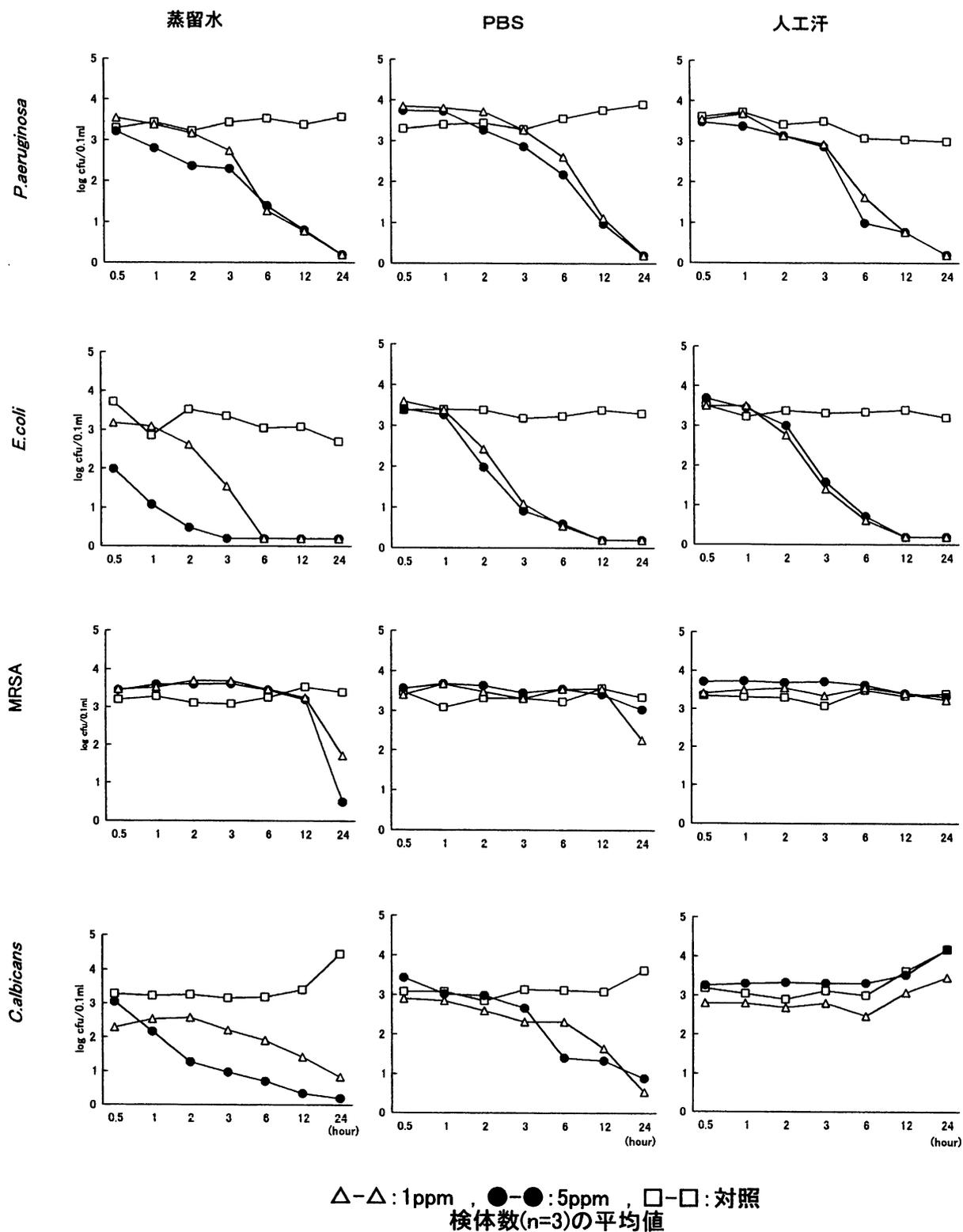


図3 硝酸銀溶液による抗菌効果

出限界以下になった。一方グラム陽性菌の MRSA, *S. aureus* はいずれの希釈液でも生菌数の減少が12時間まではほとんど認められず、希釈液が蒸留水の場合のみ24時間で生菌数は検出限界以下となった。すべての希釈液

で検出限界以下になるには48時間を要した(結果省略)。また *C. albicans* は、希釈液の蒸留水およびPBSでは銀濃度に関係なく24時間以内に検出限界に達したが、希釈液の人工汗ではMRSA, *S. aureus* と同様に検

出限界以下になるまで48時間を要した(結果省略)。

考 察

抗菌製品に用いられている抗菌剤は有機系と無機系に分けられ、現在では110種類以上のものが使用されている。有機系の主なものはアミン、第4アンモニウム塩、キトサン、ヒノキチオールなどであり、無機系としては担体(ゼオライト、シリカゲル、ガラスなど)に銀、亜鉛、銅などを含有させたものや酸化チタンなどがある¹¹⁾。有機・無機系の抗菌剤の中で、銀および銀化合物は生体に対する安全性が比較的高く^{12,13)}、古くから抗菌性を示すことが知られており¹³⁾、多くの分野でその抗菌性を利用している¹⁴⁻¹⁶⁾。

この実験に用いた銀メッキ繊維布(米国 Sauquoit 社の合成繊維と銀のハイブリット繊維によって織られた布)は現在、電磁波シールド用衣類やカーペット、静電気障害防止用品などに使用されており、銀メッキ繊維布を人体に装着した際の静電気放出能も実証されている¹⁷⁾。医療現場において繊維の静電気が問題となっているが¹⁸⁾、その防止対策としてこの銀メッキ繊維が利用できるかもしれない。しかしながら我々は、銀メッキ繊維布を静電気防止対策以外の用途に使用する目的で、この布の細菌増殖抑制効果について検討した。

銀メッキ繊維布における抗菌試験の結果から、供試菌の生菌数は接触時間の経過とともに減少傾向が認められ、銀メッキ繊維布は抗菌作用を示すことが示唆された。脂肪族イミド系抗菌剤を練り込んだ抗菌繊維布の抗菌効果を評価した報告^{19,20)}では、抗菌加工布は未加工布に比して細菌数の減少がみられ、明らかに抗菌効果が認められたとしている。抗菌加工布に用いられている素材は異なっているものの、本実験の成績もこれらの報告と同様の結果が得られた。

Mackeen ら²¹⁾は、銀濃度と抗菌効果の関係について検討し、銀濃度が増量することにより抗菌効果は高まることを報告している。一般に溶出する銀イオンの抗菌メカニズムとして、銀イオンが微生物表層の細胞膜透過性に関与する蛋白質のSH基と反応することによる細胞膜機能の妨害、あるいはチミン・アデニンとシトシン・グアニン間の水素結合に関与し、DNA分子構造である二重らせん構造を変えることによって殺菌効果を発揮すると考えられている^{22,23)}。

我々の実験で用いた銀メッキナイロン繊維布の抗菌作用と銀濃度との関係から、経時的に銀濃度が増加することにより、供試菌は減少傾向を示した。この結果から、銀は銀メッキナイロン繊維布を浸漬した溶液中にイオン状態で溶出されるので、銀濃度の増加、すなわち銀イオンが増量することにより抗菌作用は発揮されると推察できる。

一定濃度における硝酸銀溶液の抗菌効果は銀メッキ繊維布と比較して、抗菌開始時間および抗菌に要する時間が遅延傾向を示していた。とくに人工汗中におけるMRSA, *S. aureus*, *C. albicans* に対する抗菌効果は遅れて発揮された。これは硝酸銀溶液から溶出される銀イオンが人工汗中にある塩素イオンと反応して水に不溶の塩化銀になり、銀イオンの減少を来すためと推察された。

Gravens ら²⁴⁾は、硝酸銀を使用した縫合糸の抗菌効果は *S. aureus* に対して認められなかったと報告している。本実験で用いた銀メッキナイロン繊維布は持続的に銀イオンを溶出して抗菌効果を示すことから、硝酸銀よりも効果的な抗菌素材であることが示唆された。したがって、我々が用いた銀メッキナイロン繊維布はリネン類の材料として利用できると考える。

しかしながら、実験室レベルと臨床の場合における抗菌加工布の効果が異なることから^{19,25)}、我々が用いた銀メッキナイロン繊維布による抗菌加工製品の有用性評価は臨床の場合においてなされるべきであり、また安全性の面から繊維製品新機能評価協議会(SKE)が作成した統一試験法²⁶⁾を用いてテストすることが重要である。

謝 辞：銀メッキ繊維布を供与していただいた滝沢氏(明弘トレーディング株式会社)のご厚意に感謝致します。

本論文の要旨は第13, 14回日本環境感染学会総会(1999年2月, 名古屋; 2000年2月, 大分)で報告した。

文 献

- 1) 那須 勝：弱毒菌による日和見感染症の現況。感染と抗菌薬 3: 7-10, 2000
- 2) 島田 馨：日和見感染。遺伝 52: 34-37, 1998
- 3) Jernigan, J. A.: Effectiveness of contact isolation during a hospital outbreak of Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Am. J. Epidemiol. 143: 496-504, 1996
- 4) Bruun, J. N. and C. O. Solberg: Hand carriage of gram-negative bacilli and *Staphylococcus aureus*. Brit. Med. J. 2: 580-582, 1973
- 5) Larson, E. L.: Persistent carriage of gram-negative bacteria on hands. Am. J. Infect. Contr. 9: 112-119, 1981
- 6) Adams, B. G. and T. J. Marrie: Hand carriage of aerobic gram-negative rods by health care personnel. J. Hyg. Lond. 89: 23-31, 1982
- 7) Hart, S.: Blood and body fluid precautions. Nurs-Stand. 5: 25-27, 1991
- 8) 遠藤英子, 森下浩美: MRSA 保菌患者の病室環境に関する研究 —シーツ交換に伴う細菌の変化—。日本看護科学会誌 13: 132-133, 1993
- 9) 高橋泰子, 他: MRSA 感染患者に行った各種ケア後の予防衣および手袋の細菌汚染度比較。看護研究 27: 30-36, 1994
- 10) 小川徳雄: 新汗の話。汗の成分, pp 115-121, アド出版, 東京, 1994
- 11) 大久保憲: 「抗菌製品」は本当に必要か? Expert Nurse 15: 22-26, 1999

- 12) 守山嘉人, 今井茂雄: 銀系抗菌性セラミック製品. セラミックス 31: 584-586, 1996
- 13) 内田眞志: 無機系抗菌剤各論②—銀, 銅, 亜鉛/硅酸塩系—(機) 銀ゼオライト. 防菌防黴 24: 735-742, 1996
- 14) 大橋静江, 山本宏治: 銀を含有するシリカガラスの抗菌性. 歯科材料・器械. 16: 241-248, 1997
- 15) 片岡陳正, 宇賀昭二, 青木 阜: 抗菌タイルおよび抗菌陶器の抗菌効果. 環境感染 13: 205-208, 1998
- 16) 渡邊好文, 名和 肇, 小池直人, 水野文雄: 抗菌性銀ゼオライトを含有する抗菌製品のメチシリン耐性黄色ブドウ球菌に対する効果. 東京医科大学雑誌 54: 113-119, 1996
- 17) 滝沢 誠, 岡田光子, 松尾義輝: 導電性繊維(X-Static)の人体帯電防止への応用と評価. 静電気学会講演論文集 '98: 97-100, 1998
- 18) 高橋 巨, 鈴樹正大, 渡部美種: 静電気の循環器系に及ぼす影響. 麻酔 37: 570-576, 1988
- 19) 吉野節子, 他: ICUにおける抗菌加工リネンのMRSA感染予防効果の一検討. 環境感染 13: 113-117, 1998
- 20) 佐藤 清, 他: 抗菌加工繊維に用いられているKY-88の抗菌効果の検討. 環境感染 11: 101-109, 1996
- 21) Mackeen, P. C. *et al.*: Silver-coated nylon fiber as an antibacterial agent. *Antimicrob. Agents Chemother.* 31: 93-99, 1987
- 22) Rosenkranz, H. S. and H. S. Carr: Silver sulfadiazine; Effect on the growth and metabolism of bacteria. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2: 367-372, 1972
- 23) Modak S. M. and C. L. Fox: Binding of silver sulfadiazine to the cellular components of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biochem. Pharmacol.* 22: 2391-2404, 1973
- 24) Gravens, D. L. *et al.*: The antibacterial effect of treating sutures with silver. *Surgery* 73: 122-124, 1973
- 25) 大塚督子, 他: 抗菌加工繊維製品の湿潤, 乾燥条件下における経時的抗菌活性とその評価. 環境感染 15: 325-331, 2000
- 26) 佐藤賢三: 繊維製品の定量的抗菌性試験方法(統一試験方法)について. 染色 16: 40-48, 1998

[連絡先: 〒259-1193 伊勢原市望星台 東海大学健康科学部 看護学科 糠信憲明]