機能性繊維の介護医療分野への応用

水谷千代美*

1. はじめに

科学技術の進歩は私たちの生活の質（Quality of Life：QOL）を著しく向上した半面、地球全体の生態系のバランスを崩す結果となった。その影響は人間に関しては社会的弱者により大きく及んだ。たとえば、平均寿命の延長は超高齢化社会の形成とそれに伴う新たな社会問題の出現となり高齢者の QOL 低下となり、また環境汚染や新規化学物質による乳幼児の免疫不全の拡大という結果になった。我が国の高齢化が進む中で寝たきり高齢者の人口は福祉先進国（デンマーク・スウェーデン）よりも圧倒的に多く、高齢の介護者が高齢の被介護者の介護という介護負担の増大が深刻な社会問題となっている¹⁾。寝たきり状態になると生活の大半をベッド上で過ごすために、排泄物臭や体臭などの悪臭が発生し、介護者に不快感を与えるのみならず病院、高齢者施設内では、不快臭が大きな社会問題になっている²⁾。不快臭により一般人との接触が少なくなり、人間関係を悪化させ、社会的に孤立することもある。寝たきり高齢者は体重による圧迫が特定部位に長時間加わるために、血行が悪くなり、褥瘡（床ずれ）が生じることが多く、皮膚の赤みやただれ、ひどくなると潰瘍や細菌感染を生じることもある。また、寝たきり高齢者は、脳卒中などによって関節周辺の皮膚や筋肉が伸縮性を失い、可動域制限を起こし、手を固く握ったような状態である拘縮がみられる。常に手を固く握っている状態であるために、常に掌が湿潤して不快臭が発生する。さらに拘縮がひどくなると掌には白癬菌が繁殖し、皮膚疾患が発生することもある。

一方、乳幼児も強い掻痒感を伴う浸潤性湿疹が口囲、頬部、頸部、関節部などに発生するアトピー性皮膚炎が発症する。アトピー性皮膚炎は、生後 2～6 ヶ月から発生し、4 ヶ月から 6 歳までは約 12% の人が発症し、思春期になると自然治癒することが知られている。アトピー性皮膚炎は、乳幼児が皮膚呼吸をする際に空気中の有害物質を取り込むことが影響していると言われており、アトピー性皮膚炎と

地球の環境は密接に関係すると考えられる。我々は、このような背景から社会的弱者（特に高齢者・子供）—衣服とその周辺の繊維製品—環境を一つの系と考えると、消臭・抗菌・抗アレルギー機能をもつ繊維を医療や介護分野に応用し、消臭抗菌効果や身体保護効果を調べることを目的とした研究を行ってきた。本稿では、において皮膚疾患に焦点を当てて、得られた結果の一部を紹介する。

2. アトピー性皮膚炎患者への応用

アトピー性皮膚炎患者は、顔や首にかゆみを伴う湿疹が発症することから人の目にさらされることを気にして、外出を控えるようになる。学童用制服の大半は化学繊維が用いられており、重症のアトピー性皮膚炎患者になるほど制服の着用の負荷が大きく、制服が原因で症状が悪化し、学生から疎外感や劣等感を抱きやすく、精神的な問題も指摘されている。アトピー性皮膚炎患者は、皮膚科医により化学繊維の着用を控え、綿繊維の着用を勧められている。衣服の多くはポリエステルのような化学繊維が用いられており、化学繊維を着用した際に接触した部分の皮膚に紅斑やかゆみを伴う湿疹が現れる皮膚疾患を化学繊維アレルギーと呼んでおり、接触性皮膚炎の一種である。しかし、このような場合は着用することを避ければ皮膚疾患が回避されるために、軽視されることが多く、なぜ化学繊維を着用すると症状が現れるか、また、なぜ綿がよいのかは明確にされていない。

人間の皮膚表面は、皮脂膜に覆われ、健康な人の皮膚の pH は弱酸性（pH 4.5～6.0）を示す。皮膚表面には黄色ブドウ球菌や表皮ブドウ球菌およびコネリバクテリウムなどの細菌が常に存在する³⁾。発汗によって皮膚の pH が高くなると、黄色ブドウ球菌が増殖して皮膚にかゆみや赤みが発生する。アトピー性皮膚炎患者は、皮膚表面の黄色ブドウ球菌量が健康者よりも多く、黄色ブドウ球菌によって症状を悪化させるといわれている⁴⁾。また、アトピー性皮膚炎患者の皮膚は、皮膚の pH が高く、水分量が低くて乾燥しやすい。このような皮膚疾患の衣服として求められる性能は、発汗後も皮膚 pH を弱酸性に保ち、皮膚表面の黄色ブドウ球菌を抑制する抗菌性が必要となる。化学繊維の中ではポリエステルが最も多く衣料に用いられており、スポーツウェアの大半はポリエステルが使われている。本来、ポリエステル自体は中性であり、健康な皮膚（弱酸性）

Application of Functional Fiber to the Nursing Care and Medical Fields

* Mizutani, Chiyomi

大妻女子大学 家政学部 被服学科
東京都千代田区三番町 12（〒102-8357）
2019. 7. 11 受理

の状態とは異なる。そこで、我々は、ポリエステルを弱酸性にし、健全な皮膚の状態に近づけるとともに、疎水度を低くする目的でリンゴ酸や酢酸などの酸を導入したポリエステル加工布（弱酸性ポリエステル）を調製した。

最初に2種類の酸（リンゴ酸と酢酸）を導入した弱酸性ポリエステルの皮膚に対する安全性をパッチテストにより調べた。酢酸を導入した弱酸性ポリエステルは、24時間後と48時間後に皮膚がかぶれを起こして、赤くなったために不適切と判断した。一方、リンゴ酸で処理した弱酸性ポリエステルは、被験者の皮膚に変化が見られなかった。これらの結果からリンゴ酸で処理した弱酸性ポリエステルが最適と考えられた。

リンゴ酸処理の弱酸性ポリエステルの黄色ブドウ球菌に対する抗菌性を調べた。最初に約1万個の黄色ブドウ球菌を繊維表面に植えつけ、繊維表面のpH変化に伴う生菌数を調べた結果、繊維表面のpHが6.7以上では黄色ブドウ球菌の生菌数が増加しているのに対して、6.7以下では生菌数が低下した。黄色ブドウ球菌の増殖は、繊維表面のpHによって左右され、pH 6.7以下の弱酸性であれば抗菌効果が認められた。弱酸性ポリエステルの黄色ブドウ球菌に対する抗菌性は、図1のように培養後生菌数が低下し、抗菌性がみられた。繊維の抗菌性の有無は、静菌活性値が2.2以上で抗菌性があることを認められるが、弱酸性ポリエステルは静菌活性値5.6で抗菌性に優れている。

人間は、皮膚呼吸により皮膚から大気中の有害物を取り込むことがある。しかし、皮膚のpHが弱酸性に保たれることにより、大気中の有害物質の侵入を防ぐことができる。ただし、衣服を構成する繊維の種類によって、有害物質の吸着が異なる。酸導入加工布をウェアにして数名のアトピー性皮膚炎患者に着用してもらったところ、皮膚に紅斑や浮腫やかゆみなどの症状が現れることがなかった（図2）。

図1 弱酸性ポリエステルの黄色ブドウ球菌に対する抗菌効果（試料 pH≒6.0 JIS L 1902 菌液吸収法）

図2 弱酸性ポリエステルウェア着用時の皮膚状態

このような結果から、酸を導入したポリエステルは、皮膚のpHを最適な弱酸性に保ち、皮膚防御機能を保護することできた⁵⁾。

3. 手指の拘縮患者への応用

高齢者施設や病院では、手指の拘縮患者（図3）をよく目にする。手指の拘縮は、脳梗塞などが原因で寝たきりになり、関節を動かさないために次第に関節の動く範囲が狭くなった状態である。手を常にきつく握っているために通気性が損なわれ、発汗により蒸れるために、発酵したチーズのようなにおいで、掌には皮膚疾患が現れる。介護現場では、ガーゼを巻き、茶殻などで消臭効果を目指しているが、不快臭と皮膚疾患に対処できていないのが現状である。皮膚上の常在菌である黄色ブドウ球菌は、皮膚疾患を悪化させるのみならず、汗や皮脂などを不快臭物質に分解して汗臭、体臭などを発生させる。繊維の機能は、黄色ブドウ球菌を抑制する抗菌性と発生した悪臭を除去する消臭性が必要である。また、肌に直接触れるために、肌に悪影響を与えないことが大切である。そこで、我々は拘縮患者に消臭抗菌性繊維を応用して対策を試みた。我々は消臭抗菌性繊維として、血液中のヘモグロビンと類似の化学構造を持つ人工酵素を担持した肌にやさしい繊維である鉄フタロシアニン加工布に注目した。鉄フタロシアニン加工布は白井らによって開発され、様々な悪臭に対して消臭性に優れた綿繊維として知られていることから、この繊維を手指の拘縮対策に応用し、その消臭効果を調べた^{6),7)}。鉄フタロシアニン加工布を構成する消臭性を有する綿繊維は、綿繊維をカチオン化した後に鉄フタロシアニンテトラカルボン酸と反応させることにより金属錯体を担持させ（鉄フタロシアニン加工布）、さらに銅を導入して鉄フタロシアニン銅となって消臭効果を示す。汗由来のアミノ酸と皮脂由来の低級脂肪酸のモデル物質として酢酸を用いて、消臭効果を調べた。図4のように鉄フタロシアニンの消臭効果は、鉄フタロシアニンテトラカルボン酸中の COO^- と NH_4^+ がイオン反応して COONH_4 塩を形成したためと考えられる。また、鉄フタロシアニン銅加工布は、セルロース中のOH基に銅イオンが配位することでアミノ酸が捕捉され、さらに鉄フタロシアニンテトラカルボン酸のカルボキシル基とアンモニウムイオンの中和反応が加わって相乗的に高い消臭効果を示したと考えられる。

次に、鉄フタロシアニン加工布と鉄フタロシアニン銅加工布の黄色ブドウ球菌に対する抗菌性を調べた。鉄フタロ

図3 手指の拘縮患者

図4 鉄フタロシアニン加工布の消臭効果

図5 介護用品の装着

図6 介護用品使用時の手の臭気強度

シアニン加工布と鉄フタロシアニン銅加工布の静菌活性値はそれぞれ2.7と3.7を示し、いずれも防臭加工の評価基準である静菌活性値2.2以上を示した。両者ともに高い抗菌効果が認められた。

鉄フタロシアニン銅加工布の優れた消臭抗菌性を活かして、拘縮患者に対して図5のような介護用品を作製した。実際に高齢者施設で介護用品を入所者に使用してもらい、その効果を調べた。手指の拘縮のある患者の掌に介護用品を使ってもらい、臭気や皮膚疾患の状態の変化を調べた。臭気は、T&T オルファクトメータによる嗅覚テストに合格した評価者によって、6段階臭気表示法および9段階の快・不快感表示法で手のにおいを評価した。拘縮患者の手のにおい強度の変化を図6に示す。装着前は、弱いチーズが発酵したようなにおいが装着6日目では無臭になり、消臭効果が認められた。図7は代表的皮膚疾患部の変化で、鉄フタロシアニン銅加工布を直接、手指拘縮患者の患部に接触させることにより、約1週間で皮膚が健康な状態になった⁶⁾。

図7 介護用品使用前後の皮膚疾患の変化

4. 介護現場の不快臭

高齢者施設内の臭気に関する調査や臭気成分の分析などが行われており、高齢者が使用するシーツやポータブルトイレなど身の回りの物から発生する不快臭、トイレおよび居室などの排泄物臭や生活臭、おむつ替えのときの排泄物臭が気になるにおいとして指摘されている²⁾。高齢者施設や病院での不快臭は、主に排泄物臭や体臭のような身体起源の不快臭である。また、体臭が継続的に発生する気になるにおいとして指摘されている。体臭は、主に汗腺（エクリン汗腺、エポクリン汗腺）および皮脂腺からの分泌物が皮膚上に存在する黄色ブドウ球菌、表皮ブドウ球菌のような常在菌によって悪臭の原因となる臭気物質に分解されて発生する。また、体臭は、病気の種類や飲んでいる薬の種類およびストレスなどによって、においが異なることが知られている。

我々は、高齢者の体臭の原因となる臭気物質を調べることを目的として、体臭が強い高齢者に綿製の下着を着用してもらい、ガスクロマトグラフィー質量（GC-MS）分析を行った。体臭の原因となる臭気物質として、脂肪酸由来のデカノールなどの飽和アルデヒド類、2-ノネナールのような不飽和アルデヒド類、ヘキサン酸、ヘプタン酸のような脂肪酸類などが検出された。また、加齢臭の原因物質である2-ノネナールが存在することが確認できた。

我が国では、悪臭防止法により22種類の特定悪臭物質が指定されている。また、繊維製品の消臭加工認定制度によると、排泄物臭は、アンモニア、酢酸、硫化水素、メチルメルカプタン、インドールがモデル悪臭物質とされており、体臭はアンモニア、酢酸、イソ吉草酸とし、加齢臭は体臭の悪臭物質に加えてノネナールが加わり、悪臭の種類に対して臭気物質が決められている。

体臭や排泄物臭など身体起源の不快臭は、悪臭源から室内に拡散し、病院や高齢者施設内全体の不快臭として取り上げられている。このような不快臭に対して、病院や高齢者施設では換気扇、消臭壁紙、消臭カーテンなどを使用して部屋全体で不快臭除去を試みており、消臭設備が大規模になって、コスト、エネルギー面で大きな損失となっている。また、このような設備は院内感染や集団病室における二次感染にもつながり、大きな社会問題となっている。この問題を解決する方法として、尿臭や体臭のような身体起源の不快臭を、悪臭源である人体の近傍でできるだけ効率よく消臭するシステムを構築する必要がある。そのために、私たちは消臭性繊維を用いた不快臭除去システムを提案した。消臭性繊維の消臭機構は、悪臭分子との中和反応、酸

図8 病室内をシミュレーションした評価装置

化・還元反応，縮合反応などによって化学的に消臭する方法（化学的消臭）とシリカゲルや活性炭素繊維のような微細な孔に悪臭分子が吸着する方法（物理的消臭）に大別され，消臭性繊維の特性によって悪臭の種類に対する消臭能力，消臭速度などが異なっている．また，においては，室内の温度，湿度，気流などによって感じ方が異なる．そこで，これらを勘案して病院や高齢者施設の室内環境をシミュレートした人間-衣服-環境を想定した評価システムを作成し，消臭性繊維の消臭効果を調べた．尿臭のような不快臭が充満している病室や高齢者施設の室内環境をシミュレーションし，局所換気と消臭性繊維を組み合わせる用いる不快臭除去方法を検討した．

人工気候室（面積 22.5 m³，換気量 10 L/sec，換気回数 1.6 ACH，温度 28～30℃，湿度 20～70%）に立位の医者を想定し，ベッド上に横たわった寝たきり高齢者に見たててサーマルダミーマネキン（身長 165 cm）を設置した．不快臭として，尿臭を模倣したアンモニアガス（約 5400 ppm）を寝たきり高齢者の股間から発生させ，人工気候室内のアンモニア濃度が 5～6 ppm になるまで継続して発生させた．アンモニアガス濃度は，立位の医者の口，寝たきり高齢者の口，排気口および床から 1.7 m 上の位置でガスモニタ（INNOVA 社製 1312 型）により連続的に測定した．

局所換気は，寝たきり高齢者を想定したサーマルダミーマネキンとベッドマットレスの間に換気マットレスを設置することにより行った（図8）．換気マットレスは，寝たきり高齢者を想定したサーマルダミーマネキンの足元に吸入口（0.8 m×0.16 m）があり，尿臭の模倣ガスであるアンモニアガスを吸ってマットレス中を通して換気口から外へ排出することができる．換気マットレスの空気の流量は 1.5 L/sec とした．消臭性繊維として，活性炭素繊維を掛布団カバー（長さ 1.95 m×幅 1.54 m）に用いた．図9は，実験室内（1.6 ACH）のアンモニアガス濃度および換気マットレス（VM）と活性炭繊維掛布団カバー（ACFcover）を組み合わせた時のアンモニア除去効果を示している．実験室内のアンモニアガス濃度は，平均 4.6 ppm であった．人が臭いと感じる（閾値）アンモニアガス濃度は，1.5 ppm であり，4.6 ppm は明らかににおうと感じる濃度である．

図9 活性炭素繊維掛カバー（ACFcover）と換気マットレス（VM）を使用時のアンモニア除去効果

室内アンモニアガス濃度 4.6 ppm から活性炭素繊維を掛布団カバーに用いた場合（1.6 ACH+ACFcover）は，平均 0.6 ppm まで低下し，活性炭素繊維の消臭効果が認められた．その中でも，活性炭素繊維を掛布団カバー（ACFcover）に用いて換気マットレス（VM）を組み合わせるとアンモニア濃度は約 0% となり，約 100% アンモニアを除去でき，最も高い消臭効果が得られた．本実験は，不快臭を除去するために，悪臭近傍で換気マットレスを用いて局所換気をすることと掛カバーに消臭性繊維を用いることで，両者の相乗効果で室内の不快臭を除去することができた⁸⁾．

謝 辞

本研究は，JSPS 科学研究費 JP 15 K 12308，JP 17 H 01951 助成を受けたものです．

参 考 文 献

- 1) 厚生科学研究特別研究事業：昭和 63 年度厚生科学研究特別研究事業，209 (1989)
- 2) 板倉朋世，光田恵：日本建築学会建築系論文集，**73** (625)，327 (2008)
- 3) Van Toller, S. and Dodd, G. H : *Perfumery The psychology and biology of fragrance*, Chapman & Hall (1991)
- 4) Kobayashi, T., Glatz, M., Horiuchi, K., Kawasaki, K., Akiyama, H., Kaplan, D. H., Kong, H. H., Amagai, M. and Nagao, K. : *Immunity*, **42**, 756 (2015)
- 5) Mizutani, C., Ukaji, M., Horikawa, N., Yamamoto, T. and Kajiwar, K. : *SEN'I GAKKAISHI*, **69**(4), 73 (2013)
- 6) 白井汪芳：日本化学会誌，(1)，1 (1994)
- 7) 水谷千代美，矢羽田明美，白井汪芳，築城寿長，森川英明，梶原莞爾，高橋勝貞，重田富美子，黒澤宏江，大塚千晶：繊維学会誌，**69**(7)，141，(2013)
- 8) Bivolarova, M., Melikov, A., Mizutani, C., Kajiwar, K. and Bolashikov, Z. : *Building and Environment*, **100**, 10 (2016)