「医療・介護用繊維の現状と課題」特集

医療・介護用繊維の動向

林 壽 郎

1. はじめに

繊維素材は大昔から医療分野で活躍してきたが、より本格的な取組が始まったのは合成繊維の開発により種々の繊維加工技術が目覚ましい進展を遂げてからである。医療用材料は必然的に生体と直接触れるため、接触界面における生体安全性・適合性が要請されるのはいうまでもないが、同時にまた生体の運動に微妙に適應する力学性能をもつものでなければならない。繊維素材は表1に示されるように、軽量・強靱・柔軟という本質的な繊維特性と、極細繊維や中空繊維等の特異な素材を生み出す高度化された繊維加工技術を組み合わせることにより、医療分野での位置づけが今後ますます重要となることは疑いない。医療用繊維の臨床応用は表1の下段①～⑤に

表1 医療用繊維材料

特 長	①単位重量当りの表面積が著しく大きい、	軽量
	②力学的性質に優れている、	強靱
	③任意の編み織り、布加工が可能である、	柔軟
臨床応用	①汎用医療用材料	病院用材、衛生材料、機能繊維
	②外科手術用材料	縫合糸、止血材、接着剤
	③組織修復材料	人工血管、人工皮膚、軟組織修復材 硬組織修復材、人工関節、人工骨
	④血液浄化用材料	人工腎臓、補助人工肝臓、人工肺
	⑤その他	細胞培養、固定化用担体など

分類されるように極めて広範囲にわたる。①では介護用だけでなく、来世紀に向けて健康・快適を目指した予防用ヘルスケア繊維材料など今後ますます有用性の高まることが期待される。ここでは「医療・介護用繊維の現状と課題」というテーマの中で概念的な展望を試みる。紙面の都合で全体を総括することが困難なため巻末に最近の著書・総説を紹介させて頂いた[1-10]。

2. 医療用繊維材料

1)外科手術用繊維材料：生体接合材としての外科用縫合糸は大昔から使用されてきたが、現在では生体損傷部位によって種々のタイプの吸収性あるいは非吸収性繊維素材が使分けられている(表2)。吸収性の天然繊維は柔軟性に富むが、生体反応が強く、強度も不十分である

表2 外科手術用繊維材料

分 類		素 材 例	
縫合糸	吸 収 性	天然繊維	カッタウト(腸線)、再生コラーゲン、キチン
		合成繊維	ポリグリコール酸、ポリラクチン、PVA
	非吸収性	天然繊維	絹、亜麻、木綿、改質セルロース
		合成繊維	ナイロン、ポリオレフィンなど
止血剤	吸 収 性	金 属	ステンレス、銀、特殊合金
		天然繊維	コラーゲン、酸化セルロース、フィブリンなど
		合成繊維	ポリウレタン系など

Future Aspects of Biomedical and Health-care Fibers

著者紹介 TOSHIO HAYASHI

Research Institute for Advanced Science and Technology, Osaka Prefecture University

大阪府立大学先端科学研究所 教授 工学博士

著者は、医用高分子設計、酵素機能化、生体材料学を専門とされ、昭和62年度繊維学会学会賞を受賞されている。著書には、Polymeric Materials Encyclopedia (CRC Press, 分担執筆, 1996年)、Progress in Polymer Science (Elsevier Science, 分担執筆, 1994年)、バイオマテリアル入門(学会事務センター, 分担執筆, 1993年)他がある。趣味は、音楽鑑賞、雑誌、プラリ旅とのこと。

本稿では、高齢化社会に対応する医療用・介護用繊維材料の現状と将来の展開方向について、トピックス的に述べていただいた。

ため、生体による拒絶反応がなく強度も十分である合成繊維への期待が高まり、合成繊維の糸のスベリや硬すぎるといった問題点の解決のための努力が重ねられている。

2)組織修復用繊維材料：人工血管、人工皮膚、人工靱帯、人工関節および人工骨などのインプラント材料は半永久的に体内で機能する必要がある、要求特性もより厳しいものがある。この場合にも、生体内安定性素材だけでなく、適用部位によっては生体組織の修復速度に適合した生分解吸収性をもつ素材が要求される。現在では、合成高分子繊維の力学特性・長期安定性や生分解吸収性などの特性を活用し、これらの繊維を加工したり生体組織親和性を高めるためにコラーゲン被覆する方法などが開発されている(表3)。今後は、繊維そのものを改質・修飾することにより医療臨床応用に必要な、抗血栓性、抗菌性、あるいは薬剤徐放性などのより高次の機能性を担持させる技術の開発が待たれる。

人工血管の分野では、現段階では大口径人工血管のみが埋込み用として臨床応用されており、小口径人工血管に人工的抗血栓性を長期間生体内で発揮させるための開発研究が意欲的に進められている。

人工皮膚の分野では未だ代用皮膚や培養皮膚が臨床応用の中心となっているが、代用皮膚は長期間の効果的な被覆には適さない。現在では、本人の細胞を使用し永久的生着を目的とする培養皮膚が新規に開発され大きな関心を集めている。この場合にも今後は、皮膚細胞培養用の優れた培地となる素材の開発が強く望まれている。

3)血液浄化用繊維材料：血液中に含まれる好ましくない物質、例えば炭酸ガスは肺によって酸素と交換され、

毒性物質は肝臓で分解される。また、代謝老廃物は腎臓でこし分けられて排泄される。重篤な腎不全や肝臓疾患の患者の血液を体内から体外へ一時的に循環させ、体外で病因物質を除去してから再び浄化済みの血液を患者の体内に返還する治療が行なわれる。これが血液浄化療法である。この血液浄化に用いる装置には、血液透析、血漿分離フィルター、人工肺等がある。血液透析は慢性腎不全などで腎機能が著しく低下または喪失した患者に対して、水分や老廃物の排泄および電解質濃度の調整などの腎機能を代行する装置である(表4)。我が国における慢性透析患者数は今後ますます増加することが懸念され、長期透析患者の合併症も大きな問題となっている。血液透析器として現在主に使用されているのは中空糸型である。透析膜に対する要求特性を表5にまとめる。使用膜素材もセルロース系主流から合成繊維への移行が認められる。中空糸型血液透析器の改良研究例としては、透析液の改善、高透過性膜の導入、エリスロポエチンに代表される各種薬剤の併用、周辺機器の進歩などに目覚ましいものがある。当初は延命だけが治療目標であったが、現在では患者の延命と社会復帰、QOLの確保が重視されている。しかしながら生体腎機能を完全に代償できる人工臓器は未だなく、生命予後の一層の改善など克服すべき課題が山積みされている。例えば、透析アミロイドーシスの原因物質である β_2 -ミクログブリンが、透過性の高い中空糸膜によっても間歇的な治療では健常人のレベルまで引き下げられないため、より高効率で連続的な透析治療方の確立と共に、新規な透析膜の開発とこれを支える基礎科学の一層の進展が強く望まれる。また、

表3 人工血管・人工皮膚・組織修復用繊維材料

使用目的	素 材 例	主な問題点
人 工 血 管	ベロア型ダクロン、延伸加工テフロン 再生コラーゲン、PEO/ナイロン610 セグメント化PU、PGA、PVA、 ハイブリッド型小口径人工血管	大口径人工血管のみ臨床 応用可能、多孔性構造、 血栓形成、中小口径人工血 管への期待
人 工 皮 膚	創傷被覆材/再生コラーゲン、キチン 培養皮膚/再生コラーゲン、ラミネート 型人工皮膚/再生コラーゲンなど	体液漏出防止能、浸出液吸 収能、感染防止能、組織再 生促進能、生分解性
補 綴 材	コラーゲンマトリックス コラーゲン被覆高分子材料	組織接着性、感染巣形成 適切な生分解性の付与
人 工 食 道	コラーゲン被覆シリコーン	組織接着性、変形防止能
人工気管人工 筋 膜	コラーゲン被覆シリコーン	疼痛抑制能、耐緩み性
人工腱・靱帯	PET、PP、PTFE、炭素繊維	力学整合性、柔軟性
	PET、PP、炭素繊維	硬組織接着性、強度

表4 血液浄化用人工臓器

項 目	人工腎臓	人工肝臓	人 工 肺
目 的	慢性腎不全などで、水分 や老廃物の排泄、電解質 濃度の調整代行	患者の血液から血漿を 分離して廃棄し、正常 な新鮮血漿を補充	開心術の際および急性 呼吸不全患者の心肺機 能を代行
システム	血液透析(HD) 血液濾過(HF) 血液透析濾過(HDF)	血漿分離(HP) 血漿交換(PP) 吸着	血液還流(HP) ECMO ECCOL
素 材	セルロース系中空糸膜 PAN, PMMA, EVAL等	セルロース系中空糸膜 イオン交換樹脂, 活性炭, セラミックス	シリコーン中空糸膜 PP, シリコーン/ア クリルアミドグラフト
患 者	透析患者数 167,192人* 10年以上 19,820人 (*平成8年度)	慢性肝疾患 年150万人 肝硬変 25万人 原発性肝癌 3万人	

表5 透析膜の要求特性

特 性	要 求 性 能
溶質透過性	水透過性(限外濾過速度)、拡散透過性(物質移動係数) 篩係数、分画分子量特性、溶質透過性の経時劣化など
機械的性質	強伸度(乾、湿)、耐圧・耐衝撃・クリープ特性、 耐滅菌性、経時劣化、柔軟性
加 工 性	モジュール組立性、生産性
安 全 性	溶出物、急性・亜急性・慢性毒性、生体内試験
生体適合性	抗血栓性(抗凝血性)、界面・構造適合性

技術再生産のサイクルを健全に維持して機能する環境整備も重要課題となる。究極的には、社会生活を営みながら連続的に人工腎臓を稼働させる携帯型か内蔵型が期待され、装着式人工腎臓、ジャケット型人工腎臓などの小型人工腎臓の開発、あるいは腹膜透析(CAPD)法の開発などが期待される。

血液透析以外の血液浄化手段には血漿交換(プラズマフェリシス)、持続緩徐式血液濾過および腹水処理法がある。血漿交換は治療毎に約3Lの交換用新鮮血漿製剤が必要であり、コスト高と製剤に起因する副作用が問題となる。そこで、できる限り患者自身の血漿を再生する工夫が必要となる。現在、分離された患者の血漿を血漿成分分離器により病因物質を含む血漿のみを除去し、有効な血漿成分を戻すという方法が採用されているが、アルブミンと高分子量の病因物質のリボ蛋白の分離ができる程度で決して十分なものではない。一つの解決法として、吸着器を用いる血漿吸着法が検討され、目的とする病因物質を選択吸着除去する試みがなされ治療効果が期待されている。例えば、高脂血症に対するLDL吸着器や神経疾

患に対する選択吸着器の成功例がみられる。一方では、血漿交換の対象となる疾患には難病が多く、病因物質が不明であったり病因物質が複数のものが多く問題が残されている。今後は、各種疾患の病態解明と伴に、より選択性の高い吸着器の開発が急がれる。持続緩徐式血液濾過は血漿交換や血液透析と異なり10~72時間以上の長時間持続的に使用される血液浄化法である。そのために、より抗血栓性に優れ抗凝固剤不要の膜素材の開発が必要となる。これまでに、ヘパリン固定化膜や抗血栓性に優れた新規材料の使用が試みられてきたが、コストの問題などで今後の課題となっている。

腹水処理は血液浄化用に開発された分離膜を腹水に応用した療法である。現在では、貯留した腹水を抜き取り後、血漿蛋白製剤の投与が一般的療法として実施されている。これは、製剤の無駄な使用を抑えるため腹水を回収する方法として、今後さらに発展普及することが期待される。以上の通り、各種分離膜を応用した血液浄化法は既に多くの患者の救命に役立ってきたが、今後は患者数の増加が見込まれるため、対象となる疾患の病態解明とともに、廉価で高性能な吸着器を含めた選択性の高いシステム開発が大きな課題となるであろう。

人工肺は1950年代から臨床使用されてきた開心術時の体外循環回路の人工心肺装置の一部として活用される生体肺の代行となるガス交換機能器である。人工肺には、血液と酸素ガスが直接接触する気泡型人工肺と、膜を血液と酸素ガスの間に介在させる膜型人工肺がある。後者は血液破壊や微小血栓形成などの血液損傷が少なく生理的条件下に近い状態が維持できるため、現在では中空糸膜型人工肺の外部かん流方式が中心となっている。

1995年の我国の適用例は3万件を越え、最近では、急性呼吸不全等の肺そのものを補助するECMO用の治療用具としての使用も増えてきている。これまでに膜型人工肺の小型化や高性能化等の技術的側面は一応満足する成果を得ており、現段階では、トータルシステムの観点から取り扱いの簡便さ、血液貯留用リザーバーの改良、血液循環用ローラーポンプの見直しが中心課題となっている。今後は性能の追求から機能の追求へと技術開発の視点に移され、より生体適合性を高めるためにヘパリン固定化人工肺の開発研究の完成が望まれるとともに、血液凝固を抑制する血液流路構造の改善が急がれる。さらに、開心術時だけでなくECMOやPCPSなどの補助肺としての長期連続使用を可能とするため、小型で携帯型的人工肺システム、さらには埋込み型人工肺への研究開発が望まれている。

3. ヘルスケア繊維

1) 介護用ヘルスケア繊維材料：入院患者や寝たきり老人の病院用・介護用繊維材料には、薬事法で規制されるガーゼや脱脂綿等の大判製品と最終製品生理処理用品と

しての衛生材料、および一般の介護ヘルスケア繊維材料に大別される(表6)。前者は主に病院等で患者の患部に直接接触する材料であり厳しい耐滅菌性が要求され、年間当たり700億円以上の市場がある。一方、患者や介護を受ける側向けの繊維製品は、免疫抵抗力が弱くなっている対象者を感染から守るために清潔が第一であり、病原体の温床となることを防止して患者自身の回復促進とともに、医療・看護従事者や面会人への二次感染を防止するために抗菌加工品やディスポ製品が徐々に普及している。医療・看護・介護用繊維製品の開発は、医療用具の開発とは異なり、現場からの要求に対して、メーカー側の持つ技術ポテンシャルを最大限に活用して迅速かつ廉価に製品を供給することが重要である。今後は、急速な高齢化に伴い増加が予想される床ずれ症患者に対応できる繊維製品の開発、患者や介護を受ける側のQOL向上に寄与できる機能性繊維の開発と廃棄物対策を考えた医療用不織布の開発が課題となる(図1)。

2) 予防用ヘルスケア繊維材料：我国における急激な高齢化社会の到来への対策とより豊かな生活を約束する機能性繊維の開発は「健康」と「快適」がキーワードとな

表6 一般医用繊維材料

用 途	特 長	素 材 例
病院用材	ベッドシート	耐洗濯性、帯電防止、 吸水性、防漏性、軽量
	白衣、手術衣、帽子 患者衣、マスク	耐洗濯性、耐滅菌性、 無菌・無塵・防塵性
衛生材料	ガーゼ、包帯、 脱脂綿、タンポン、 添布材、絆創膏	局方(薬事法)適用、 耐滅菌性、吸水性、 皮膚刺激防止能
機能繊維	消臭繊維	耐洗濯性、耐候性、
	抗菌防臭繊維 芳香繊維	吸水性、消毒性、軽量 速乾性、抗菌・防臭性
		セルロース、アクリル、 ポリエステル(多孔性、 中空糸、異形)

図1 一般医療・介護用繊維製品の開発の系譜

ってきている(図2)。これまでは、合成繊維に吸水・吸湿性を付与させて天然繊維の機能にいかにか近づけるかに焦点が当てられてきたが、現在では天然繊維を越える機能を持つ合成繊維も登場し、むしろ合成繊維で初めて得られる「健康」・「快適」機能を追求するようになってきた。

衣料は人体の約70%に接触しており、繊維を工夫する

図2 健康を守る合成繊維

ことで健康や快適感を高めることが可能である。今後は各種の外的な刺激やストレスを積極的に解消できるような機能性繊維の開発が課題となる。そのためには、繊維形成技術そのものの高度化と、機能付与物質と繊維との分子レベルでの相溶化・複合化技術や表面超微細加工技術などのより高次の繊維後加工技術を展開する必要がある。「健康」・「快適」に役立つ繊維製品の研究開発は、今後、ユーザーの要求の多様化、個衆化および高齢化などのニーズの流れと、それに対応できるメーカー側の基盤技術の幅出しを如何に有効に価値で実現できるかが問題となる。

4. おわりに

我国は来世紀に向けて空前の高齢化社会を迎えるだけでなく、世界的な地球環境の悪化に伴い、好ましくない外的刺激やストレスの増加による病人の増加が懸念される。健康で快適な生活を保証するためには個人の自覚は言うまでもないが、社会としての完全な医療・健康保証が不可欠となる。すでに、医療応用・健康維持を目的とする種々のバイオテクノロジーと直接深い関わりのある機能材料の開発においては、技術面においてはさらに高度な物理化学的機能性を付与するための技術の発展だけでなく、最終的には生物機能を精巧にシミュレートしたバイオミメティック・エンジニアリングの展開が重要課題となる(表7)。そのためには今後ますますエレクトロニクス、メカトロニクスなどの周辺技術をはじめとして関連する多くの学際・業際との協同によって材料技術をさらに高度化させて行かなければならない。一方では、人命に関わる医療用材料といえどもコストを念頭に置いた開発研究が必要である。さらに、製造物責任法(PL法)の施行以降、予測しがたい事故が起きた場合でも企業責任を問われることになり、企業の取り組み姿勢に変化が起き、これが技術開発の阻害要因となっていることも事実である。とりわけ体内埋入用医療用材料においては、長期安定性を保証する手段がなく新規な材料の開発には多大の時間とコストを要する結果とり、技術進歩が遅れるという弊害が生まれている。今後は、企業に全責任を押しつけることなく、何らかの公的な保証制度を整備して社会全体の問題として捉え、技術開発を促進できる総合的な取り組みが重要な課題となるであろう。

最後に、本稿は財機振興協会・経済研究所「生体機

表6 一般医用繊維材料

生体繊維組織の構造特性		①生体は緻密に設計された多機能複合材料である。 ②サブ構造→階層的な構造システム構築→高次機能発現。 ③環境に適應する自己診断・自己修復・自己増殖の反復。
生体模倣型機能性繊維例	刺激応答性繊維ゲル	微小な温度・pH・濃度変化などの刺激に微妙に應答して迅速に体積変化や変形できる繊維ゲル。 (例)高次機能型人工透析器、人工肛門用アクチュエーター
	人工酵素繊維	酵素機能を模倣した人工酵素を合成し繊維と組合わせる。 (例)抗菌・殺菌繊維、診断用繊維、人工電子伝達系
	埋め込み型人工腎臓	小型化二段階除去システム、生体適合性繊維材料。
	自己修復促進型繊維	損傷した生体組織の自己修復を促進させる新素材。 (例)キトサン混入レイヨン糸/アトピー性皮膚炎に有効
	成長機能性繊維	生体外で迅速に組織細胞を大量培養させるための培地。
	微生物産生型繊維	バイオセルロースやバイオヒアルロン酸/極細繊維

能性繊維技術調査研究報告書」に基づいて作成したことを明記するものである。

5. 医療・介護用材料の最近の著書・総説

- 1) 化学繊維技術改善研究委員会(監修)「生体機能性繊維技術調査研究報告書」, 機械振興会・経済研究所(1998).
- 2) 林 壽郎, 「医療用エラストマー」, 日本ゴム協会誌, 71(5), 243-250(1998).
- 3) 林 壽郎, 「歯科技工」, 医歯薬出版, 25(4), 430-434(1997).
- 4) 林 壽郎, "Bioindustry", シーエムシー, 13(5), 19-27(1996).
- 5) 林 壽郎, 「医用高分子材料開発の動向」(化学工業社), 47(7), 505-512(1996).
- 6) 林 壽郎, 「医療用高分子材料」, 日本接着学会誌, 32(2), 62-68(1996).
- 7) T. Hayashi, "Biomedical Functions and Biotechnology of Natural and Artificial Polymers", ATL Press, pp.169-180(1996).
- 8) 次世代繊維科学の調査研究委員会(監修)「新繊維科学」(1995).
- 9) 筏 義人(監修)「生体材料学」, 産業図書(1994).
- 10) T. Tsuruta (Ed.) "Biomedical Applications of Polymeric Materials", CRC Press, (1993).

第30回洗浄に関するシンポジウム

主 催：日本油化学会, 洗浄・洗剤部会
協 賛：日本家政学会, 繊維学会, 日本繊維製品消費学会
日 時：平成10年11月12日(木)～13日(金)
会 場：発明会館ホール

東京都港区虎ノ門2-9-14

TEL：03-3502-5499

[交通]

地下鉄銀座線 虎ノ門下車 徒歩6分

都営地下鉄三田線 内幸町 徒歩10分

参加費：(テキスト代及び消費税を含む)	予約	当日
本会正会員	9,000円	10,000円
本会維持会員所属非会員/協賛学会員	11,000円	12,000円
非会員	13,000円	15,000円
学生	4,000円	5,000円

懇親会：11月12日(木) 18時00分より, 虎ノ門パストラル新館5F 蘭の間

会費：一般5,000円, 学生1,000円

申込〆切：平成10年10月28日(水)

申込方法：申込書または葉書, FAXに氏名, 会員番号, 所属, 連絡先, 送金方法を明記のうえ, 下記申込先にお送り下さい。

参加費は申込み締切日までに銀行振込で前納して下さい。当日, 振込用紙を受付にて提示して頂ければ参加券をお渡しします。なお納入された参加費は返金いたしかねますので, 予めご了承下さい。

銀行振込：第一勧業銀行 平井支店 普通預金口座1992197

口座名義は日本油化学会洗浄洗剤部会です。

テキストのみをご希望の方は, 1部5,000円(送料, 消費税共に含む)を上記銀行振込で送金願います。シンポジウム終了後送付致します。

申込・問合せ先：ライオン㈱ファブリックケア研究所 米山雄二

〒132-0035 東京都江戸川区平井7-13-12

TEL：03-3616-3038, FAX：03-3616-5376