

氏 名	こ ばやし まさ のり 小 林 正 典
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3720 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	共焦点レーザー走査顕微鏡 (Confocal Laser Scanning Microscopy: CLSM) による生体関節軟骨と人工軟組織のトライボロジーに関する研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 池 内 健 教 授 富 田 直 秀 教 授 田 畑 泰 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、生体関節軟骨と人工関節の潤滑機構を調べた結果を示すとともに、ポリビニルアルコール・ハイドロゲル製の人工軟骨を膝関節軟骨及び膝半月板の代替材料として応用することを試みたものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり、人工関節の歴史、現状、問題点、潤滑機構、今後の展望などを概説して本研究の位置づけを行っている。

第2章では関節軟骨をガラス面に押し付けてレーザー走査顕微鏡で観察した結果を示している。そして、接触面は固体接触域、液体ブリーング域、それらの境界部分に分類できることを示している。そして、正常軟骨に比べて変性した軟骨では液体相の形成範囲が縮小することを示している。またオプティカル・アイソレーターの手法を用いた結果、特に第三領域では関節液成分と軟骨の細胞外基質成分の相互作用によって液晶構造が形成され、潤滑状態の向上に寄与していることが示されている。

第3章では現在、人工関節の材料として用いられている Co-Cr 合金及び超高分子量ポリエチレン (UHMWPE) とガラス板との接触状態をレーザー走査顕微鏡で観察した結果を示している。この場合には関節軟骨で見られた固体接触相や第三領域の存在は認められなかった。金属面では軟骨で見られたような液体のプールや液晶構造は認められなかった。したがって、現在の人工関節においては境界潤滑が支配的であると結論された。

従来の人工関節が材料の耐摩耗性に期待して設計されていたのに対して、第4章では生体関節と同様に関節液の流体潤滑効果を利用して摩耗を減少させる新しい機構の人工関節を提案している。その手段として、軟骨と類似した弾性係数を有するポリビニルアルコール・ハイドロゲルを人工軟骨あるいは人工半月板として用いることを試みている。人工軟骨の含水率を変化させることにより粘弾性を調節できることを明らかにし、関節軟骨あるいは膝半月板と類似した力学特性を有する人工材料を製造できることを示している。

人工軟骨同士を組み合わせさせて摩耗試験を行った結果、凝着により過大な摩耗が生じたが、人工軟骨と生体関節軟骨の組み合わせでは良好な潤滑状態が維持され、摩耗は少なかった。これより、人工軟骨はたとえ力学特性が同じでも生体骨特有の潤滑機能を有しないことを明らかにしている。そこで人工材料を生体軟骨と組み合わせ人工軟骨又は人工半月板として用い、半関節の状態動物実験を行った。その結果、人工軟骨と相手面の軟骨ともに良好な状態に保たれており、ポリビニルアルコール・ハイドロゲルが人工軟骨として応用できることが示唆された。

第5章では人工軟骨や人工半月板に応用することを目的として開発されたポリビニルアルコール・ハイドロゲルとガラス板の界面をレーザー走査顕微鏡で観察して結果、生体軟骨の場合に見られた液体膜や液晶構造が観察されなかったと述べている。人工軟骨の力学的性質が関節軟骨に近いにもかかわらず、このような違いが見られたことから、生体関節軟骨表面上の液体膜や液晶構造は、単に軟骨の粘弾性のみによって形成されるのではなく、関節液成分と軟骨表面の物理・化学的相互作用によって生じると推測している。

第6章はまとめであり、本研究の成果をもとにして将来の人工関節の開発に関する展望を述べている。まず、生体関節に

見られる流体潤滑効果を人工関節にも取り入れることを目指すべきであるが、現実的には境界潤滑を利用すべきであると述べている。そのため、今後の研究においては、関節液の持つ物理・化学的性質を詳しく研究し、潤滑剤としての特性を十分に発揮させるような設計を考えることが重要であると提案している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、生体関節と人工関節の潤滑機構をレーザー走査顕微鏡観察と摩擦試験によって調べ、人工軟組織を関節軟骨及び膝半月板の代替材料として用いる可能性を調べた研究についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 関節軟骨をガラス板に押し付けてレーザー走査顕微鏡で観察した結果、その界面には固体接触域、液体の閉じ込められた領域、それらの境界部分に分類できることを発見し、それらの部分が各々、直接接触領域、流体潤滑領域、境界潤滑領域に対応することを確認した。一方、従来、人工関節に用いられてきた CoCr 合金や超高分子量ポリエチレン及び、ポリビニルアルコール・ハイドロゲル製人工軟骨とガラス板の界面には、明確な液体閉じ込め領域が生じないことを明らかにした。

2. 生体軟骨の境界潤滑領域をオプティカル・アイソレーター法で分析した結果、結晶構造が存在することを明らかにした。さらに、この部分では軟骨の表面に関節液成分が結合して液晶を形成することを見出し、軟骨と関節液の相互作用によって生体関節に境界潤滑作用が生じる事を実証した。

3. 生体軟骨や膝半月板と類似した粘弾性を有する人工軟組織であるポリビニルアルコール・ハイドロゲルを用いて摩擦試験を実施した。その結果、人工軟組織同士の場合には凝着のため摩擦が著しいが、生体軟骨と人工軟骨の組み合わせでは生体関節の潤滑機構が働いて良好な潤滑状態が保たれることを明らかにした。

4. イヌの膝関節内に人工軟骨を埋植し、またウサギの膝半月板を人工半月板に置換する実験を行った結果、ポリビニルアルコール・ハイドロゲル製の人工軟組織は大荷重下でも相手の軟骨面に損傷を与えないことを確認した。

以上、本論文は、関節軟骨、膝半月板の代替材料としてポリビニルアルコール・ハイドロゲル製の人工軟組織を用いる新しい医療技術を開発したものであり、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。