



性に及ぼす影響因子を提示し、その改善点を考察した。

第5章では、結言として以上の研究成果についてのまとめを行った。

### 論文審査の結果の要旨

人工関節は関節機能障害に悩む患者の疼痛を寛解し、よりよいADL (Activities of daily living) とQOL (Quality of life) の獲得に大きな役割を果たしている。しかし、現行の人工股関節については、関節運動に伴う超高分子量ポリエチレン (UHMWPE) の摩耗の進行により使用年数が制限される問題や人工股関節周囲の骨が吸収される骨溶解によって固定性が失われる弛みの問題が報告されている。骨溶解についてはサブミクロンサイズのUHMWPE摩耗粉の数に起因することが明らかにされており、摩耗抑制は重要な課題となっている。人工膝関節については、屈曲に明らかな拘縮を有する場合に用いる後方安定型人工膝関節のカム/ポスト部分に破損もしくは激しい摩耗が生じることが懸念されており、更なる検討が必要とされている。本論文は関節シミュレータをはじめとする各種制御機器による独創的な実験手法により現行の主要な人工関節用材料の摩擦摩耗特性とその影響因子の解明を行い、それらの結果を複合的に考察して摩擦摩耗特性の発生機序と摩耗抑制についての改善点を提示している。

人工関節用材料の摩擦摩耗特性とその影響因子の解明では人工股関節と人工膝関節のそれぞれの問題点に合わせた実験を行っている。人工股関節については、従来の研究経緯を考慮して生体運動要素、接触面圧、温度および滑り方向変化の4つの影響因子について摩擦摩耗特性を調査している。実験では表面分析や摩耗粉観察なども行い、摩擦摩耗特性の発生機序に対する基礎データの構築も行っている。生体運動要素の影響についての調査では生体運動要素の一つである立脚期の長期化を考慮した断続的作動条件と通常歩行の条件となる連続的作動条件を関節シミュレータに適用し実験を行い、生体運動要素を考慮した方がUHMWPEの摩耗の進行が遅くなることを示している。接触面圧の影響についての調査では、一定の摩擦条件下で人工関節の摺動特性である多方向滑り摩擦が行えるピン・オン・ディスク試験機を設計製作し実験を行い、接触面圧の増加に伴いUHMWPEの摩耗量および摩擦係数が低減することを示している。さらに、試験後のディスクの摩擦領域には接触面圧の増加に伴い移着膜が増加し、摩擦領域が疎水化および平滑化することを明らかにしている。温度の影響についての調査では生体内での人工関節摺動面の温度範囲内において温度と摩擦摩耗の関係を調査し、人工関節摺動面の温度上昇に伴い摩耗深さおよび摩擦係数が増大することを明らかにしている。摩耗粉観察では、摺動面温度の上昇によりサブミクロンサイズの摩耗粉の数が増加傾向にあることを示しており、骨溶解の誘導に温度上昇が関与している

可能性があることを示唆している。人工関節の摺動特性である滑り方向変化の影響についての調査ではシミュレータ試験の作動条件を基準に内外旋運動範囲を変更することで、滑り方向変化の度合と摩擦摩耗関係を明らかにしている。人工膝関節については、圧力センサシートを用いて既存の後方安定型人工膝関節カム/ポスト部分の接触面圧の大きさと接触重心位置を調査し、摩耗および破損への危険性が高いことを確認している。加えて、UHMWPE成型時の圧縮方向に対して垂直な面と平行な面を摺動面とする試験片を作成し実験を行い、成型時の圧縮方向に対する摺動面の向きによりUHMWPEの摩耗量および摩擦係数が異なることを示し、後方安定型人工膝関節のポリエチレンインサートのポスト部と脛骨部の摺動面にUHMWPE成型時の圧縮方向を考慮した設計が必要であることを提案している。

次に、それらの結果をもとに人工関節用材料の摩擦摩耗における作動条件依存特性に関する考察、PBSと模擬関節液の比較による吸着膜の作用と条件依存性に関する考察、並びに人工関節の摩擦摩耗抑制に関する考察を行い、次世代人工関節の設計等に対する有用な情報を提供している。

以上の結果と考察のまとめとして、特に人工股関節におけるCo-Cr合金ボール摺動面の温度上昇がUHMWPEの摩耗を加速的に増大させる因子になりうることを示唆している。人工股関節ではUHMWPEの摩耗および骨溶解の誘導を抑制することが最重要課題とされているため、本論文はその解決に向けた基礎データを提示できたものと考えられる。加えて、後方安定型人工膝関節の設計に考慮すべき影響因子として接触面圧とUHMWPE成型時の圧縮方向に対する摺動面の向きを考慮することで耐摩耗性を向上することが可能なことが示されている。それゆえ、整形外科等の臨床を現場とする機械設計工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認める。

### 最終試験結果の要旨

本論文に関し、審査委員から、現状の人工関節用材料の摩擦摩耗特性の解明における本実験方法、各影響因子に対する摩擦摩耗特性の発現原因および摩耗増大因子に対する改善策などについて質問がなされたが、筆者の回答はいずれも明確であった。また、公聴会においても出席者から質問がなされたが、著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上の結果から、著者は試験に合格したものと認めた。