

審査の結果の要旨

氏名 李世豪

本論文は、「Integrated Computational Framework of Full Body Musculoskeletal Model and Ground Reaction Model for Postoperative Biomechanical Prediction(術後のバイオメカニクス予測のための全身筋骨格モデルと床反力モデルを統合した計算フレームワーク)」と題し、全6章より構成されている。リュマチや関節症に罹患した軟骨部位を人工物に置き換える人工関節置換術は、少子・高齢化に伴い、右肩上がりで件数が増加している。この手術は、関節機能を復元することで、歩行や正座を再び可能にしようとするものであるが、手術後の満足度が80%程度とリスクの高い手術となっている。この課題を解決するためには、患者個人の状態を把握し、その状態にあった手術方法を計画することが重要である。本論文は、有限要素法を用いた筋骨格モデルを全身レベルで構築し、患者個別の関節挙動を解析するとともに、手術後における運動の予測を行うモデルの構築を目的とする。有限要素法と筋骨格モデルを融合させることで関節の変形を考慮した解析を可能とし、そのモデルを全身に拡張することで、患者個別の運動解析モデルを提案・実証するものである。

第1章の「Introduction」では、筋骨格モデルや床反力予測の研究状況を本研究の背景として述べ、従来の手法では術後の歩行予測に対する課題が存在することを提示している。先行研究の課題に基づいて、本研究の研究目的を述べている。

第2章の「Full-body musculoskeletal modeling in finite element environment」では、筋骨格モデルと有限要素法モデルを融合した全身モデルについて述べている。構築したモデルにより、ワークフローに従って対象者のモーションデータと床反力データを入力することで、全身の動きを解析することが可能となる。また、関節部分に有限要素法を用いているため、関節の応力分布や変形などを予測することができることを明らかにしている。

第3章の「Ground reaction prediction model based on convex optimization」では、人間の運動挙動における床反力の予測モデルについて述べている。運動を精度良く解析するためには、地面からの反力を正確に入力する必要がある。し

かしながら、手術後の床反力は予測するしかない。そこで、人間の歩行力学系において、力学方程式を分離する手法を提案し、運動動作が分かれば床反力を予測できる手法を提案した。提案した手法を5つの評価指標で評価し、大きさと位相の両方において優れた相関性と良好な精度を得ている。

第4章の「Integrated computational framework of the ground reaction prediction model and the full-body musculoskeletal model」では、第2章と第3章で提案したモデルを統合し、床反力予測モデルと全身筋骨格モデルの統合計算フレームワークについて述べている。提案モデルを用いることで、動作データを入力すれば、床反力を予測し、それに従って筋肉や関節の挙動を予測できる。この提案モデルを用いることで、現在の状態での運動解析と、外科手術後の運動予測解析が可能となるため、例えば、患者の術前と術後の歩行解析および予測が期待される。

第5章の「Analysis of dynamics variation between normal gaits and imitative pathological gaits using the integrated computational framework」では、病態を模倣した歩行動作を術前動作とし、正常歩行動作を術後動作として、力学的見地から検討を行った。その結果、提案した統合計算フレームワークを用いて正常歩行と異常歩行の力学的変化を解析し、手術によって歩行動作が力学的にどのように変化するかについて考察した。

第6章は「結論」であり、以上の結果を要約し、本論文の結論を述べている。

以上、本論文は、全身筋骨格モデルと床反力モデルを統合し、運動データを入力するだけで床反力を予測、術後の歩行動作を提示する計算フレームワークを提案した。その結果、床反力とモーメントの予測を可能とし、術後の下肢アライメントの状態によって床反力、関節トルク、筋腱力、関節荷重が変化することを明らかにした。この研究の成果によって、患者の手術前の運動データから人工関節のサイズや設置位置を適切に提案することが期待される。これらの研究手法と成果は独創的なものであり、機械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)の学位請求論文として合格と認められる。