

# 論文要旨

[学位論文の題名]

## 3次元動態解析による膝関節手術に関する支援技術の開発

---

---

---

[氏名]

池部 怜

---

[学位論文の要旨]

本論文では、人工関節および生体関節を対象とした動態解析技術を用いて、膝関節手術における支援技術の開発することを目的とし、人工膝関節全置換術 (Total knee arthroplasty, TKA) 前後における動態評価、膝蓋骨コンポーネントの動態解析、および後十字靭帯 (Posterior cruciate ligament, PCL) の機能評価を行った。

第 1 章では、本論文の目的を明確にし、研究背景について述べる。さらに、第 2 章以降における本論文の構成について述べる。

第 2 章では、膝関節の運動についての基礎事項、骨、筋肉および靭帯の解剖学的構造、および TKA で用いられる人工膝関節の機種とその機能について概説する。

第 3 章では、本論文で使用した動態解析技術について述べる。第 3.1 節では、1 方向 X 線動画像上のインプラントの輪郭像と人工関節の 3 次元形状データよりシミュレーションした投影像を利用した人工関節を対象とした動態解析手法について概説する。第 3.2 節では、1 方向 X 線動画像と CT 画像より作成した投影シミュレーション像間の画像相関を利用した生体関節を対象とした動態解析手法について概説する。第 3.3 節では、生体関節を対象とした動態解析手法を応用した膝蓋骨コンポーネントの動態解析手法について概説する。膝蓋骨コンポーネント置換後の生体残存骨部に対して、画像相関を利用したイメージマッチングを行うことで、膝蓋骨コンポーネントが示す 6 自由度運動の算出を行った。第 3.4 節では、動態解析手法の精度検定および有用性について概説する。精度検定により、本手法は 0.26mm, 0.30deg 以内の空間精度を有していることを確認した。

第 4 章では、動態解析結果に対する評価手法について述べる。第 4.1 節では、これまでに提案した TKA 後の大腿脛骨関節の動態解析結果に対する評価手法を概説する。TKA 後の大腿脛骨関節の評価は、6 自由度運動の評価、大腿骨コンポーネントの最下点の軌跡の評価、および大腿骨コンポーネントとポリエチレンインサートの最接近点の軌跡の評価の 3 項目を行った。第 4.2 節では膝蓋骨コンポーネン

トの動態解析結果に対する評価手法について概説する。膝蓋骨コンポーネントの動態解析の評価手法は、6自由度運動の評価および大腿骨コンポーネントと膝蓋骨コンポーネントの最接近点の軌跡の評価を行った。第4.3節では、TKA後の各コンポーネントの置換位置の推定方法およびTKA前後の動態解析結果に対する評価手法について概説する。TKA前後の動態解析の評価方法は、TKA前後で統一した相対座標系を用いた6自由度運動結果、PCL付着部位間距離および膝蓋腱付着部位間距離の計測結果をTKA前後で比較を行った。第4.4節では、動態解析結果を用いたPCL付着部位の機能推定手法について概説する。大腿骨と脛骨の骨モデル上に計測点を設け、Length patternの計測を行った。計測した結果に対してLength patternの条件を設定し、計測点を大腿骨および脛骨にプロットすることでPCL付着部位の機能推定を行った。

第5章では、膝屈曲動作を対象に動態解析および評価を行い、提案する評価手法の有用性について述べる。第5.1節では、被験者および対象動作の撮影方法について概説を行う。第5.2節では、TKA後における大腿脛骨関節の動態解析結果および考察について述べる。6自由度運動の評価では、内転/外転の回転運動および内側/外側方向の並進運動の結果において、人工膝関節のデザインに促された動態を確認できたと考えられる。さらに、大腿骨コンポーネントの最下点およびコンポーネント間の最接近点の結果より、人工関節の寿命に大きく影響する摩耗の危険性を示唆することができた。第5.3節では、膝蓋骨コンポーネントの動態解析結果および考察について述べる。6自由度運動の評価では、大腿骨コンポーネントの回転運動に拘束された膝蓋骨コンポーネントの並進運動を捉えることができた。大腿骨コンポーネントと膝蓋骨コンポーネントの最接近点の結果より、大腿骨コンポーネントのデザインの違いによる膝蓋大腿関節面の接触状況の違いを捉えることができ、膝蓋骨コンポーネントの破損の危険性について示唆することができた。第5.4節では、TKA前後で同様の相対座標系を用いた膝関節の動態解析結果および考察について述べる。6自由度運動結果より、大腿脛骨関節においてTKA前の膝関節の内反およびTKA後における下肢アライメントの再建を捉えることができた。膝蓋骨においては、TKA前後の膝蓋大腿関節面の接触状態の違いによる膝蓋骨の動態の違いを捉えることができた。第5.5節では、本研究グループが行った健常膝関節を対象とした膝屈曲動作時の動態解析結果に対し、PCL付着部位に関する評価手法を適用した結果および考察について述べる。PCLの機能を有したLength patternを抽出し、計測点を大腿骨および脛骨にプロットした結果より、全被験者で共通したプロット範囲を捉えることができた。さらに、計測距離の絶対変位量を基に3分割した結果では、絶対変位量の違いによるプロット位置の変位を捉えることができた。

第6章では、以上の研究についてまとめを行う。