

	さ　　とう　　たかし
氏　　名	佐　藤　　卓
学　　位	博　士（医学）
学位記番号	新大博(医)第1665号
学位授与の日付	平成16年12月28日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
博士論文名	Three-Dimensional Lower Extremity Alignment Assessment System. Application to Evaluation of Component Position After Total Knee Arthroplasty. (3次元下肢アライメント測定システムとその人工膝関節 設置位置評価への応用)
論文審査委員	主査　教授　遠藤直人 副査　教授　柴田　実 副査　教授　熊木克治

#### 博士論文の要旨

【はじめに】人工膝関節置換術(以下TKA)のコンポーネント設置位置はその臨床成績に深く関与する因子として極めて重要であるが、これまでその評価は2方向単純X線による2次元的な評価が一般的であった。我々は2方向デジタルX線(以下CR)を用いて骨に対するコンポーネント設置位置を3次元的に評価する方法を開発し、その精度を検証したので報告する。

【方法】1. 3次元下肢アライメント測定システム:120度の開き角を持つ特殊カセット台を用いて前後、60度斜位での立位下肢全長の連続CR撮影を行う。画像をコンピュータにダウンロードし解析を行うが、予め行うキャリブレーションによって得られた射影行列の逆演算(カメラ校正法)によって、撮影された2次元画像から被写体の3次元形状と位置を求めることが可能となる。CR画像上で大腿骨・脛骨の骨参照点をデジタル化することで各骨の座標系を構築する。標本骨から得られた大腿骨・脛骨の表面形状3Dモデル(以下標準骨モデル)に予め組み込まれた骨参照点がCR画像のデジタル化で得られた対象骨の骨参照点と一致するように変形させ、擬似骨コンピュータモデル(以下変形骨モデル)を作成して下肢の3次元アライメントを表すパラメータを算出する。2. コンポーネント設置位置評価への応用:TKA術後、3次元下肢アライメント測定システムによって立位下肢全長の2方向CR撮影を行い、骨モデルを作成・保存しておく。術後、再度同様の2方向撮影を行いコンピュータにダウンロードする。保存しておいた骨モデルとCADデータから得られたコンポーネントの3Dモデル(以下コンポーネントモデル)をCR画像上に投影し、各々の輪郭どうしが正確に一致するように重ね合わせる。これにより、骨とコンポーネントの相対位置関係が3次元的に決定し、各々に組み込まれた座標系の相対関係から設置位置・設置角度が算出される。3. 精度検定 ①コンポーネントの推定位置追従性の検討:正確に5度ずつ傾きを変えられる撮影台を作成し、その上に大腿骨コンポーネントを置き、5度ずつ傾きを変えて同

システムによる2方向CR撮影を行う。上記の方法でコンポーネントモデルとCR画像のイメージマッチングを行い、実際のコンポーネントの傾き角度を推定し誤差を検定する。②臨床例におけるコンポーネント設置位置の算出精度の検定:実際にTKAを施行した症例でコンポーネント設置位置を算出するが、上記の変形骨モデルを用いるかわりに、患者本人のCTデータから得られた3次元骨モデル(以下CTモデル)を用いて設置位置を算出しこれを基準値とする。次に変形骨モデルを用いた方法で設置位置を算出し基準値からの誤差を検定する。

【結果】①コンポーネント推定位置追従性の検討:本システムで算出されたコンポーネントの傾き角度と真値との誤差は最大0.37度、平均0.24度であった。②臨床例におけるコンポーネント設置位置の算出精度の検定:CTモデルを用いて算出した基準値と変形骨モデルを用いて算出したコンポーネント設置位置との誤差は大腿骨側で最大0.90度、平均0.78度、脛骨側で最大0.70度、平均0.35度であった。

【考察】これまでコンポーネント設置位置評価において一般的に用いられてきた2方向単純X線による評価法は患者の撮影肢位や膝の屈曲拘縮、変形などによる影響が大きく高精度な評価は困難である。また、臨床成績に大きく影響するコンポーネントの回旋方向の設置角度は上記の単純X線による方法では評価不可能である。今回我々はカメラ校正法の応用によって2方向CR画像情報の3次元化を高精度で可能とし、これによっての従来法による評価の問題点を改善した。また、大腿骨・脛骨に解剖学的座標系を設定し、骨形状や下肢アライメントを客観的に評価することが可能となったため、それらを加味したコンポーネント設置位置の評価が可能となった。ただし、設置位置評価で重要となる大腿骨や脛骨顆部の詳細な形状は変形骨モデルによる再現が現時点では不可能であるため、今後はCTモデルによる評価値も参考としながら更に改良を加えていく予定である。

## 審査結果の要旨

人工膝関節置換術(以下TKA)のコンポーネント設置位置は臨床成績に深く関与するが、その評価はこれまで2方向単純X線による2次元的な評価が一般的であった。著者らは2方向デジタルX線(以下CR)を用いて骨に対するコンポーネント設置位置を3次元的に評価する方法を開発し、その精度を検証した。

3次元下肢アライメント測定システム:120度の開き角を持つ特殊カセット台を用いて前後、60度斜位での立位下肢全長の連続CR撮影を行い、画像をコンピュータにダウンロードし解析する。予め行うキャリブレーションによって得られた射影行列の逆演算(カメラ校正法)によって、撮影された2次元画像から被写体の3次元形状と位置を求めることが可能となる。CR画像上で大腿骨・脛骨の骨参照点をデジタル化することで各骨の座標系を構築する。標本骨から得られた大腿骨・脛骨の表面形状3Dモデル(以下標準骨モデル)に予め組み込まれた骨参照点がCR画像のデジタル化で得られた対象骨の骨参照点と一致するように変形させ、擬似骨コンピュータモデル(以下変形骨モデル)を作成して下肢の3次元アライメントを表すパラメーターを算出する。

コンポーネント設置位置評価への応用:TKA術後、3次元下肢アライメント測定システムによって立位下肢全長の2方向CR撮影を行い、骨モデルを作成・保存しておく。術

後、再度同様の2方向撮影を行いコンピュータにダウンロードする。保存しておいた骨モデルとCADデータから得られたコンポーネントの3Dモデル(以下コンポーネントモデル)をCR画像上に投影し、各々の輪郭どうしが正確に一致するように重ね合わせる。これにより、骨とコンポーネントの相対位置関係が3次元的に決定し、各々に組み込まれた座標系の相対関係から設置位置・設置角度が算出される。

精度検定 ①コンポーネントの推定位置追従性の検討:正確に5度ずつ傾きを変えられる撮影台を作成し、その上に大腿骨コンポーネントを置き、5度ずつ傾きを変えて同システムによる2方向CR撮影を行う。上記の方法でコンポーネントモデルとCR画像のイメージマッチングを行い、実際のコンポーネントの傾き角度を推定し誤差を検定する。②臨床例におけるコンポーネント設置位置の算出精度の検定:実際にTKAを施行した症例でコンポーネント設置位置を算出するが、上記の変形骨モデルを用いるかわりに、患者本人のCTデータから得られた3次元骨モデル(以下CTモデル)を用いて設置位置を算出しこれを基準値とする。次に変形骨モデルを用いた方法で設置位置を算出し基準値からの誤差を検定した。

結果 コンポーネント推定位置追従性の検討:本システムで算出されたコンポーネントの傾き角度と真値との誤差は最大0.37度、平均0.24度であった。臨床例におけるコンポーネント設置位置の算出精度の検定:CTモデルを用いて算出した基準値と変形骨モデルを用いて算出したコンポーネント設置位置との誤差は大腿骨側で最大0.90度、平均0.78度、脛骨側で最大0.70度、平均0.35度であった。コンポーネント設置位置評価において一般的に用いられてきた2方向単純X線による評価法は患者の撮影肢位や膝の屈曲拘縮、変形などによる影響が大きく、高精度な評価が困難であった。特に臨床成績に大きく影響するコンポーネントの回旋方向の設置角度は上記の単純X線による方法では評価不可能であった。本論文で示した方法はカメラ校正法を応用し、2方向CR画像情報の3次元化を高精度で可能とした。これによって従来法による評価の問題点を改善した。また、大腿骨・脛骨に解剖学的座標系を設定し、骨形状や下肢アライメントを客観的に評価することが可能となり、それらを加味したコンポーネント設置位置の評価が可能となった。ただし、設置位置評価で重要となる大腿骨や脛骨顆部の詳細な形状は変形骨モデルによる再現が現時点では不可能であるため、今後はCTモデルによる評価値も参考とした改良が必要であろう。

以上、新しい評価方法を開発した点に学位論文としての評価を認める。