

Title	In vivo kinematics of mobile-bearing knee arthroplasty in deep knee bending motion
Author(s)	渡邊, 哲
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45204">https://hdl.handle.net/11094/45204</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	わた なべ てつ 哲 渡 邊 哲
博士の専攻分野の名称	博 士 (医 学)
学 位 記 番 号	第 1 8 5 5 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 医学系研究科先端応用医学専攻
学 位 論 文 名	In vivo kinematics of mobile-bearing knee arthroplasty in deep knee bending motion (膝屈曲動作における mobile-bearing 人工膝関節の生体内動態解析)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 越 智 隆 弘  (副査) 教 授 吉 川 秀 樹 教 授 田 村 進 一

### 論 文 内 容 の 要 旨

#### 〔目 的〕

前後回旋の動きを許容する mobile-bearing 人工膝関節は生体内での複雑な膝の運動に順応するように開発された。しかし、人工膝関節置換術後に人工関節の詳細な運動を知ることが臨床上一般に困難である。今回我々は、人工膝関節の一方向 X 線透視画像から人工膝関節の三次元 (3D) 動態解析を可能とするシステムを開発し、荷重下膝屈曲動作時の mobile-bearing 人工膝関節の精密な 3D 動態解析を行う事を目的とした。

#### 〔方 法〕

Kneeopus mobile-bearing knee system を用いて人工膝関節全置換術を行い、100° 以上屈曲可能であった 11 例 12 膝を対象とした。対象疾患は変形性膝関節症 6 膝、慢性関節リウマチ 6 膝であった。全例女性、計測時年齢は平均 68.0 歳、術後から計測時までの期間は 31.8 ケ月であった。全例において mobile-bearing insert には前後回旋の動きを許容する slot type を使用し、後十字靭帯は温存した。連続的な荷重下膝関節屈曲動作を膝側面方向から X 線透視撮影を行った。

一方向 X 線透視画像から CAD (computer-assisted design) モデルを用いて大腿骨コンポーネントおよび脛骨コンポーネントの空間位置姿勢を再現する 2D/3D registration technique を用いて術後 TKA の 3D 姿勢を推定した。X 線透視画像はその構造により特有の歪みを生じる。格子状グリッドの撮影像から、透視画像の歪み補正フィルタを作成し、解析する全ての透視画像に適用した。さらに立体構造をもつ calibration cage の撮影により、透視装置の中心投影系内部パラメーター (X 線焦点位置、画像投影中心) を算出した。以上のプロセスによって画像の歪みを補正した透視撮影空間をコンピューターで仮想的に再現可能となる。各コンポーネントの位置姿勢を決定するために、その仮想空間における X 線焦点-金属コンポーネントの投影輪郭を結ぶ直線の束とコンポーネント CAD モデル表面間の距離総和を最小化する自動 registration algorithm を用いた。以上の 3D 位置推定を連続透視画像に適応することで、生体内人工膝関節の動的な 3D 運動解析を行った。

本手法の位置姿勢推定精度を評価するために実際に使用する X 線透視画像を用いて生体外 (in vitro) 精度実験を行った。精度評価の基準となる人工膝関節コンポーネント位置姿勢の決定には、約 0.1 mm 精度で赤外線 LED マー

カーをトラッキング可能な光学式 3D デジタイザー (Optotrak) を用いた。Optotrak による計測結果を基準として、脛骨コンポーネントに対する大腿骨コンポーネントの相対的な推定位置姿勢を比較し、本システムの推定精度とした。二乗平均誤差 (RMSE : root-mean-square error) は、回転  $0.5^\circ$ 、平行移動  $0.4\text{ mm}$  (内外側方向 $\Rightarrow$ 画像奥行き方向は  $1.0\text{ mm}$ ) であった。

膝関節の回転表記には Grood らによる関節回転規約を用い、荷重下膝屈曲動作時の脛骨コンポーネントに対する大腿骨コンポーネントの軸回旋および内外顆中心点の前後移動を測定した。

#### 〔結 果〕

Kneepus mobile-bearing 人工膝関節の荷重位における膝関節可動域は  $113.7\pm 9.5^\circ$  であった。大腿骨コンポーネントは屈曲  $0^\circ$  から  $120^\circ$  までの間に  $13.4\pm 4.0^\circ$  外旋を認めた。平均的に内顆は屈曲  $0^\circ$  から  $100^\circ$  までに  $6.2\text{ mm}$  前方移動し、その後屈曲  $120^\circ$  までに  $4.0\text{ mm}$  後方移動した。外顆は屈曲  $0^\circ$  から  $40^\circ$  までに  $1.0\text{ mm}$  前方移動し、その後屈曲  $120^\circ$  までに  $8.7\text{ mm}$  後方移動した。平均動作を pivot pattern としてみた場合、屈曲  $0^\circ\sim 60^\circ$  までは外顆が不動で内顆が前方移動する lateral pivot pattern、 $60^\circ\sim 100^\circ$  までは内顆が前方 $\rightarrow$ 外顆が後方 $\rightarrow$ 移動する central pivot pattern、 $100^\circ$  以上では両顆とも後方 $\rightarrow$ 移動する rollback pattern を示した。

#### 〔総 括〕

一方向 X 線透視画像を用いた人工膝関節の 3D 動態解析システムを開発し、前後回旋の動きを許容する mobile-bearing 人工膝関節の術後荷重下における膝屈曲動作時の動態解析を行った。前後回旋の動きを許容する mobile-bearing 人工膝関節は正常膝にみられる medial pivot pattern を示さなかったが、膝屈曲に伴う大腿骨の外旋と深屈曲時の rollback を再現していた。これらの特徴的な動態は、本人工関節と正常膝の構造の類似点および相違点を反映した結果となった。本研究で得られた動態解析の結果は今後の人工膝関節開発において有用な情報となり得る。

### 論文審査の結果の要旨

人工膝関節置換術後に人工関節の詳細な運動を知ることが臨床上一般に困難であるが、今回我々は人工膝関節の一方向 X 線透視画像から人工膝関節の三次元 (3D) 動態解析を可能とするシステムを開発し、荷重下膝屈曲動作時の mobile-bearing 人工膝関節の精密な 3D 動態解析を行った。

Kneepus mobile-bearing system を用いて人工膝関節全置換術を行い、insert には前後回旋の動きを許容する slot type を使用し、後十字靭帯は温存した。 $100^\circ$  以上屈曲可能であった 11 例 12 膝を対象として連続的な荷重下膝屈曲動作の X 線透視撮影を行った。対象の荷重位膝可動域は  $113.7\pm 9.5^\circ$  であった。大腿骨コンポーネントは屈曲  $0^\circ\sim 120^\circ$  までの間に  $13.4\pm 4.0^\circ$  外旋を認めた。平均的に内顆は屈曲  $0^\circ\sim 100^\circ$  までに  $6.2\text{ mm}$  前方移動し、その後屈曲  $120^\circ$  までに  $4.0\text{ mm}$  後方移動した。外顆は屈曲  $0^\circ\sim 40^\circ$  までに  $1.0\text{ mm}$  前方移動し、その後屈曲  $120^\circ$  までに  $8.7\text{ mm}$  後方移動した。平均動作を pivot pattern としてみた場合、屈曲  $0^\circ\sim 60^\circ$  までは外顆が不動で内顆が前方移動する lateral pivot pattern、 $60^\circ\sim 100^\circ$  までは内顆が前方 $\rightarrow$ 外顆が後方 $\rightarrow$ 移動する central pivot pattern、 $100^\circ$  以上では両顆とも後方 $\rightarrow$ 移動する rollback pattern を示した。前後回旋の動きを許容する mobile-bearing 人工膝関節の術後荷重下における膝屈曲動作時の動態解析を行った。前後回旋の動きを許容する mobile-bearing 人工膝関節は正常膝にみられる medial pivot pattern を示さなかったが、膝屈曲に伴う大腿骨の外旋と深屈曲時の rollback を再現していた。これらの特徴的な動態は、本人工関節と正常膝の構造の類似点および相違点を反映した結果となった。

本研究で得られた動態解析の結果は今後の人工膝関節開発に重要な指針を与える研究結果であり、博士の学位授与に値すると考える。