8C-03 人工膝関節動態における運動姿勢の影響とその評価法に関する研究

Effects of exercise posture and motion in knee prosthesis kinematics

○ 学 真鍋 雅嗣 (九大・院)
 正 村上 輝夫 (九大・院)
 正 澤江 義則 (九大・院)
 正 廣川 俊二 (佐賀大・医)
 長嶺 隆二 (杉岡記念病院)

Masashi MANABE, Kyushu University, Motooka744, Nishi-ku, Fukuoka

Teruo MURAKAMI, Kyushu University

Yoshinori SAWAE, Kyushu University

Shunji HIROKAWA, Saga University, Nabeshima5-1-1, Saga

Ryuji NAGAMINE, Sugioka Memorial Hospital, Kashiiteruha3-6-1, Higashi-ku, Fukuoka

Key Words: Pattern Matching, Knee Prosthesis, Knee Kinematics

1. 緒言

近年、人工膝関節置換術が多用され、人工膝関節の性能評価や術後評価が数多く行われるようになってきた。その結果、人工膝関節動態が患者の運動姿勢によって影響を受けることが分かってきた。しかし、様々な運動姿勢による人工膝関節動態の差異を調査した例や、その結果を考慮に入れた評価法が少ないのが実状である。

本研究では、人工膝関節装着者のフルオロ画像 (X線動画) にパターンマッチング法^{1),2),3)}を適用することによって、様々な運動姿勢における人工膝関節の動態測定を行い、運動姿勢と人工膝関節動態の関連性について検討した。また、この結果を踏まえた評価指標や評価手法の提案を行った。

2. パターンマッチング法

X線装置から得られる画像は、対象物体の形状が点対称や軸対象でなければ、その輪郭形状は物体の姿勢に応じた変化を示す。また、X線像の位置や大きさも、物体の空間的位置に対応して変化する。したがって、位置・姿勢が既知である当該人工膝関節の投影像群をライブラリとしてコンピュータ上に用意しておけば、位置・姿勢が未知の人工膝関節投影像の形状をライブラリ内の要素群のそれと比較・対照することで、その位置・姿勢を推定することが可能となる²⁾。この原理を用いて動作中の膝関節のフルオロ画像を基に人工膝関節の動態を計測することが可能である。

3. 実験

本実験では現用の人工膝関節である NRG-PS 型を使用した。NRG-PS 型を挿入した被験者は 6 名 (男性 0 名, 女性 6 名), 6 膝 (右 4 膝, 左 2 膝), 平均年齢は 75 歳である。以下に示す 2 種の測定実験を行った。

実験 1 では、被験者に起立状態から最大屈曲角度までのスクワット動作を行わせた。その際、つま先の開く角度を、内側に 15°, 0°, 外側に 15° の 3 種類に設定し、各つま先角度におけるスクワット動作中の人工膝関節のフルオロ動画を撮影した。

実験 2 では、被験者に以下に示す 5 種類の姿勢で、膝の屈伸運動を行わせ、動作中の人工関節のフルオロ動画を撮影した。

- ① prone 伏臥位
- ② lateral decubitus position 側臥位 (撮影対象脚が上部)
- ③ sitting on a chair 椅子に座った状態での屈伸運動
- ④ standing curl 立位での屈伸運動
- ⑤ tugging with strap 仰臥位 足裏に通した紐を患

者自身が引くことによって膝の屈伸運動を行う。

図 1 に撮影時の各運動姿勢の写真を示す。

撮影後、各実験によって得られたフルオロ画像にパターンマッチング法を適用して、大腿・脛骨コンポーネントの相対的位置・姿勢を推定した。

Fig.1 Postures studied in the experiment

4. 実験結果および考察

結果はすべて大腿コンポーネントから見た脛骨コンポーネントの相対的位置・姿勢で表している。また、図中の内外反角度は外反を正、内反を負、内外旋角度は外旋を正、内旋を負と定義している。

実験 1: 各屈曲角度に対する付随的内外反角度を図 2、付随的内外旋角度を図 3 に示す (エラーバー: 標準偏差)。

図 2 に関して、内外反角度はつま先角度に関わらず、動態はほぼ同じであり、接地状態の影響はほとんど認められない。内外反において、対象人工膝関節は強い拘束性を有しており、安定性が高いことが観える。

図 3 に関して、全つま先角度において、内外旋角度は屈曲角度が増加するに従い内旋する動きが確認された。また伸展時に脛骨が外旋する Screw-Home-Movement⁴⁾も確認できた。これらの様態は正常膝でも確認されている。したがって、足裏の接地による拘束は膝の運動に大きな影響を与えていないことが分かる。

しかし、内外旋角度の大きさには違いを生じており、つま先を内側に回旋させた状態では、つま先角度 0° の動態に比べてより内旋側で、外側に回旋させた状態で

は、より外旋側で脛骨の回旋運動が発生していた。足裏の回旋の影響が膝に伝わったためと考えられる。

実験2:各屈曲角度に対する付随的内外反角度を図4, 付随的内外旋角度を図5に示す。比較のため、実験1のスクワット時における動態も含めて記載している。

図4に関して、内外反角度においては実験1と同様にどの運動姿勢においても違いは少なく、 $\pm 2^\circ$ の範囲内での動きが確認できる。

図5の内外旋角度では、運動姿勢によって大きな動態の差異が発生していることがわかった。ProneやLateral decubitusでは脛骨は常に外旋側で運動しており、最大外旋角度はProneで 11.5° 、Lateral decubitusで 10.9° であった。SittingやTuggingでは動態挙動や回旋角度の大きさなど、Squatとほぼ同じであった。また、運動姿勢に依らず、屈曲角度が増加するに従い脛骨は内旋すること、Screw-Home-Movementが発生することが確認された。

人工膝関節動態に大きな影響を与えるとされている因子に大腿四頭筋がある。この筋肉に着目してみると、運動を行う際、大腿四頭筋に力を入れなければならない姿勢や動作(Squat, Sitting, Tugging)では、脛骨の最大外旋角度は最大でもTuggingの 5.8° と小さく、動作範囲もより内旋側に近づいている。一方、大腿四頭筋に力をあまり必要としない姿勢や動作(ProneやLateral decubitus)においては、最大外旋角度が大きく、脛骨の回旋運動はより外旋側で起こっていることがわかる。この傾向は、患者それぞれの各運動姿勢による結果でも同様である。

人工膝関節の動態が運動の種類や動作中の下肢の姿勢に影響されるのは言うまでもないが、主動筋の活動による影響も無視できない。したがって、大腿四頭筋をはじめとする筋肉の影響を考慮に入れた評価法を構築する必要があり、それによって人工膝関節評価や手術評価が行われるべきである。

5. 結言

パターンマッチング法を用いて、フルオロ画像から人工膝関節の位置・姿勢推定を行い、各運動姿勢における人工膝関節動態データを測定し、姿勢が動態に与える影響について考察と検討を行った。また、この結果を踏まえた評価法に対する提案を行った。

今後は運動姿勢と人工膝関節動態の関連性に関する調査を継続して行うとともに、姿勢が与える影響を考慮に入れた術後評価法や、人工膝関節の性能評価法の確立を目指す予定である。

Fig.2 Variations of varus-valgus angles as a function of knee flexion for various toe angles

Fig.3 Variations of internal-external angles as a function of knee flexion for various toe angles

Fig.4 Variations of varus-valgus angles as a function of knee flexion for various postures

Fig.5 Variations of internal-external angles as a function of knee flexion for various postures (Symbols are same as Fig.4)

参考文献

- 1) S. A. Banks and W. A. Hodge : IEEE Trans. Biomedical Engineering, vol.43, pp638-649, 1996.
- 2) 廣川俊二, 有吉省吾他:単面投影像による人工膝関節の三次元位置・姿勢推定に関する研究.日本機械学会論文集(C編), 69: 157-164, 2003.
- 3) 吉田太郎, M.A.ホサイン他:パターンマッチング法による人工膝関節の動態推定(X線撮影像を対象とした精度評価). 日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol.28, 2007.
- 4) T. P. Wallace and P. A. Wintz : Comput Graphics Image Process, Vol.13, pp99-126, 1980