G0210102

人工関節全置換膝の階段昇り動作におけるインピンジメント解析

下戸 健^{*1}, 足立 隆弘^{*2}, 金子 真大^{*2}, 池部 怜^{*3}日垣 秀彦^{*4}, 濱井 敏^{*5}, 岩本 幸英^{*5}Impingement Analysis between Components during Stair-climbing Activity
after Total Knee ReplacementTakeshi SHIMOTO^{*1}, Takahiro ADACHI^{*2}, Masahiro KANEKO^{*2}, Satoshi IKEBE^{*3}Hidehiko HIGAKI^{*4}, Satoshi HAMAI^{*5}, Yukihide IWAMOTO^{*5}^{*1} Fukuoka Institute of Technology, Dept. of Information Engineering and System Engineering
3-30-1 Wajiro-higashi, Higashi-ku, Fukuoka, 811-0295 Japan

Recently, Impingement problem of femoral component and polyethylene insert after total knee replacement (TKR) has been brought to light by contact pressure analysis using the knee joint simulator. Therefore, adequate motion analysis is important for estimating the impingement between components and improving postoperative exercise. The purpose of this paper is to analyze the impingement of TKR components during stair climbing activity *in vivo*. Nine patients (Ten knees) with posterior-stabilized (PS) TKR and Ten patients (Twelve knees) with cruciate-retaining (CR) TKR were examined in stair climbing activity. The 3-D position and orientation of the implant components were determined using image matching technique. Kinetic relation between the femoral component and polyethylene insert and between the intercondylar notch and tibial eminence was calculated, and then their impingement was analyzed. In the CR subjects, the femoral intercondylar notch was considered impinging the tibial eminence in hyperextension of stair climbing activity, but there was no such case. In the PS subjects, impingement of the femoral intercondylar notch and the anterior tibial post were observed in hyperextension of stair climbing activity. In addition, it was observed that femoral cam impinge the posterior tibial post in deep flexion or external rotation. This study helps the surgeon be more aware about impingement between components under some conditions and is useful to improve the design of artificial knee joint.

Key Words : Posterior-Stabilized TKR, Cruciate-Retaining TKR, Impingement analysis, Image matching

1. 結 言

人工膝関節全置換術 (Total Knee Replacement, TKR) において, 術後診断, 術式の考察および次世代人工関節の開発のために, 生体内における人工膝関節の動態解析が盛んに行われている⁽¹⁾⁽²⁾. 本研究グループが行っている動態解析では, コンポーネント同士の接触を確認しており⁽³⁾, それらの結果を基に人工膝関節用トライボシミュレータを用いた力学試験から, 人工関節形状の考察や衝突の危険性について報告している⁽⁴⁾⁽⁵⁾. したがって, 生体内における人工膝関節の衝突を解析することができれば, 人工膝関節の形状に合わせた術式の評価や, 術後の指導

^{*1} 会員, 福岡工業大学 情報工学部 (〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1)

^{*2} 非会員, 福岡工業大学 情報工学部

^{*3} 正員, 九州産業大学 工学部

^{*4} フェロー, 九州産業大学 工学部

^{*5} 非会員, 九州大学 医学部

E-mail: s11c1014@bene.fit.ac.jp

などに応用できると考えられる。そこで本研究では、日常生活動作において膝への負担が最も大きいとされる階段昇降（Stair climbing）に着目し、後方安定型（Posterior-Stabilized, PS）人工膝関節と後十字靱帯温存型（Cruciate-Retaining, CR）人工膝関節が置換された患者を対象に、Stair climbing 時のコンポーネント間の衝突について解析を行い、得られた結果について考察を行った。

2. 対象および方法

PS 型人工膝関節置換された 9 名 10 膝（被験者 A～J）、CR 型人工膝関節置換された 10 名 12 膝（被験者 K～V）を対象とした。全例支持なく歩行が可能な症例であった。生体内における人工膝関節の動態はフラットパネルディテクター（Flat Panel Detector, FPD）の撮影で得られる X 線画像に対し、イメージマッチング技術を応用して解析を行った。並進運動と回転運動の解析精度は、それぞれ 1.0mm と 1.0deg 以内に収まっていることを確認している。実験に用いた階段は 2 段であり、幅は 400mm、1 段目と 2 段目の高さは 200mm、1 段目と 2 段目の奥行きは、それぞれ 200mm と 400mm とした。解析対象となる足が 1 段目に接地し、最大屈曲位から最大伸展位までを経時的に 0%～100% として動態解析を行った。得られた結果を基に各人工関節コンポーネントを 3D-CAD 上で再現し、PS 型人工膝関節では、ポストとカムの最短距離、大腿骨顆間部とポストの最短距離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干渉について解析を行った（図 1）。CR 型人工膝関節では、大腿骨顆間部と脛骨隆起の最短距離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干渉について解析を行った（図 2）。

Fig.1 Distance of femoral component and polyethylene insert for impingement (PS type TKR).

(A) Distance of cam of femoral component and posterior aspect of tibial post.

(B) Distance of intercondylar notch of femoral component and anterior aspect of tibial post.

Fig.2 Evaluation of impingement using distance of intercondylar notch of femoral component and tibial eminence of polyethylene insert (CR type TKR).

3. 結果および考察

Stair climbing 動作におけるコンポーネント間の最短距離および干渉について、PS 型人工膝関節と CR 型人工膝関節の結果をそれぞれ図 3 と図 4 に示す。実線は大腿骨コンポーネントとポリエチレンインサートは接触しておらず、破線は接触していることを表す。距離が約 0mm の場合は、PS 型人工膝関節では、ポストとカムもしくは大腿骨顆間部とポストが接触しており、それ以外は内外側方向などで接触していることを表す。CR 人工膝関節では、大腿骨顆間部と脛骨隆起が接触しており、それ以外は内外側方向などで接触していることを表す。

PS 型人工膝関節が置換されている被験者において、被験者 A から E は Stair climbing 動作終了時に過伸展しており、被験者 F から J は過伸展していない。昇段時にポストカム機構が機能していたのは、被験者 E と H のみであり、回旋することで接触が起こっていた。人工膝関節の設計上、ポストカム機構は屈曲角度約 75deg から接触するが、Stair climbing 動作開始時の最大屈曲角度の平均は 67.7deg であり、接地における荷重負荷により大腿骨コンポーネントが前方変位してもポストカム機構が機能しないと考えられる。Stair climbing 動作終了時で過伸展にならない被験者では、大腿骨顆間部とポストの接触は確認されなかったが、回旋によりポスト側面での接触が 2 膝確認された。過伸展になる被験者では、5 膝中 4 膝の接触が確認された。これは、人工膝関節の設置アライメントの影響が考えられる。さらに、人工関節の設計上、過伸展 14deg まで前方インピンジメントは起きないが、伸展時に大腿四頭筋が脛骨を前方に引き出すことも影響していると考えられる。本実験で用いた人工膝関節は前方インピンジメントを想定しておらず、日常動作において安定的なキネマティクスを得るためには、これらを想定した設計が必要だと考えられる。

Fig.3 Impingement of femoral component and polyethylene insert in stair climbing activity (PS type TKR).

CR 型人工膝関節が置換されている被験者において、被験者 K と L は Stair climbing 動作終了時に過伸展しておらず、被験者 M から V は過伸展している。Stair climbing 動作終了時の過伸展により、大腿骨顆間部と脛骨隆起での接触が予想されたが、そのような動態は確認されなかった。しかし、Stair climbing 動作終了時に過伸展になった被験者 O と U において、接触が確認されたが、これは大腿骨コンポーネントの内外側方向の変位も影響しているが、大腿骨コンポーネントがポリエチレンインサートに沈み込んでいたことも要因であった。この場合、生体内に置換されたポリエチレンインサートの摩耗が懸念される。

4. 結 語

FPD から出力される医用画像とイメージマッチング法を用いて、Stair climbing 動作における PS 型および CR 型人工関節置換膝の動態解析を行い、コンポーネント間の衝突について解析した。患者個々の特徴を示すことができ、ポリエチレンサートの摩耗予測にも応用できると考えられた。日常動作におけるコンポーネント同士の衝突解析は、患者個々の診断や術後の運動指導に応用でき、問題点を改善することで次世代の医療に貢献できると考えられる。

文 献

- (1) Banks, S.A., Harman, M. K., Bellemans, J. and Hodge, W. A. "Making sense of knee arthroplasty kinematics: news you can use", *the journal of bone and joint surgery*, Vol.85-A, No.4, (2003), pp.64-72.
- (2) Walker, S. A., Hoff, W., Komistek, R. and Dennis, D. "'in vivo' pose estimation of artificial knee implants using computer vision", *Biomedical sciences instrumentation*, Vol.32, (1996), pp.143-150.
- (3) Hamai S., Miura H., Higaki H., Matsuda S., Shimoto T., Sasaki K., Yoshizumi M., Okazaki K., Tsukamoto N. and Iwamoto Y., "Kinematic analysis of kneeling in cruciate-retaining and posterior-stabilized total knee arthroplasties", *the Journal of Orthopaedic Research*, Vol.26, No.4, (2008), pp.435-442.
- (4) Hamai S., Miura H., Higaki H., Shimoto T., Matsuda S., Okazaki K. and Iwamoto Y., "Evaluation of impingement of the anterior tibial post during gait in a posteriorly-stabilised total knee replacement", *the Journal of Bone and Joint Surgery Br*, Vol.90, No.7, (2008), pp.1180-1185.
- (5) Hamai S., Miura H., Matsuda S., Shimoto T., Higaki H., Iwamoto Y., "Contact Stress at the Anterior Aspect of the Tibial Post in Posterior-Stabilized Total Knee Replacement", *Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol.92, No.8, (2010), pp.1765-1773.

Fig.4 Impingement of femoral component and polyethylene insert in stair climbing activity (CR type TKR).