

302 歩行時におけるモバイルベアリング式インサートの動態解析

Kinematics of the Mobile Bearing TKA during Walking

○ 須崎 映太 (九産大) 正 日垣 秀彦 (九産大) 正 下戸 健 (九産大)
 学 安武 誠治 (九産大) 松森 健司 (九産大) 緒方 毅 (九産大)
 吉住 昌晃 (九産大) 三浦 裕正 (九大) 岩本 幸英 (九大)

Terutaka SUZAKI, Hidehiko HIGAKI and Takeshi SHIMOTO, Kyushu Sangyo University, 2-3-1 Matsukadai, Higashi-ku, Fukuoka
 Seiji YASUTAKE, Kenji MATUMORI, Takeshi OGATA and Masaaki YOSHIZUMI, Kyushu Sangyo University
 Hiromasa MIURA and Yukihide IWAMOTO, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka

Key words : Mobile bearing total knee, Artificial Knee Joint Simulator, Motion analysis

1. 緒言

高齢社会の進展に伴い、生体の退行性変化に起因する疾患(変形性膝関節症や慢性関節リウマチ等)が増加の一途を辿っている。変形性膝関節症をはじめとした高度に破壊された膝関節に対し、除痛可動性、支持性を同時に得られる手術法として全人工膝関節置換術(Total Knee Arthroplasty, TKA)が広く普及している。現在、広い屈曲可動域の確保と長期耐用性についての設計開発が取り組まれている。近年のデザインや材料等の向上により耐用年限は徐々に長期化されてきているが、再置換の原因となる摺動面の摩耗のメカニズムに関しては未だ解決されていない。この要因として、膝関節における複雑な6自由度運動などが挙げられる。これらの問題を解決するため、二つの摺動面を有し、屈曲伸展運動と内外旋・前後方・内外側を機能分担させたモバイルベアリング式人工膝関節が臨床応用されている。そこで本研究では、生体における6自由度運動を完全に再現するため、パラレルリンク6自由度アクチュエータを応用した人工膝関節シミュレータを開発し、モバイルベアリング式人工膝関節摺動面の相対運動を実験的に解析することにより、デザインと運動機能の関係を検討した。

2. 対象および方法

対象には現在臨床で応用されているモバイルベアリング式人工膝関節の左足用2機種を用い、それぞれをType A, Type Bとした。通常の人工膝関節は脛骨コンポーネント上にポリエチレンインサートが固定されているが、今回用いたモバイルベアリング式人工膝関節はインサートが脛骨コンポーネント上で回転と並進運動を許容するデザインとなっている。Type AとType Bが許容する自由度と変位量をTable 1に示した。人工膝関節用6自由度トライボシミュレータ装置は油圧式パラレルリンクアクチュエータ、空圧シリンダ、6軸力覚センサで構成され、パーソナルコンピュータによって制御を行った。脛骨コンポーネントをパラレルリンクアクチュエータのモーションベースに固定された6軸力覚センサに取り付け、大腿骨コンポーネントを空圧シリンダに連結された屈曲伸展軸に取り付けた。脛骨側に内旋/外旋、内転/外転の回転運動と内側/外側、前方/後方の平行移動を制御し、大腿骨側で自由度の大きい軸荷重および屈曲/伸展運動を制御した(Fig.1)。モバイルベアリング式人工膝関節を6自由度トライボシミュレータに取り付け、Andriacchi¹⁾および

Table 1 Convention of mobile bearing total knee prosthesis.

(a) Type A		(b) Type B	
Translation		Translation	
Anterior / Posterior	About $\pm 2.0\text{mm}$	Anterior / Posterior	—
Medial / Lateral	About $\pm 1.0\text{mm}$	Medial / Lateral	—
Rotation		Rotation	
Internal / External	About $\pm 20.0\text{deg}$	Internal / External	Free

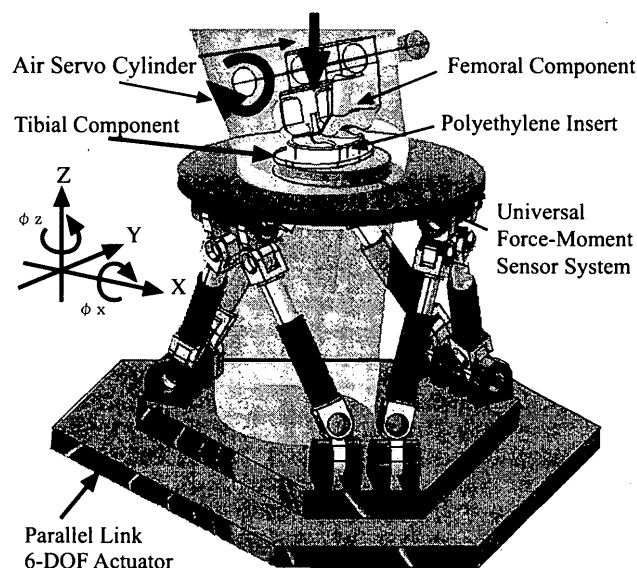


Fig.1 Schema of the artificial knee joint simulator

Morrison²⁾らの歩行データを参考に作成した5自由度と軸荷重(Fig.2)を用いて膝の6自由度運動を再現した。インサートとモーションベースに取り付けられた指標を、異なる角度から2台のビデオカメラで撮影することによって、歩行におけるインサートの動態解析を行った。本実験では、大腿骨コンポーネントとインサート、および脛骨コンポーネントの接触に関し、静的条件と動的条件(1.0Hz, 0.5Hz)において解析を行った。静的条件では、1歩行周期を50ステップに分割し、各位相における荷重と変位をアクチュエータにより静的に与え、インサートの位置と姿勢を解析した。一方、動的条件では、1歩行の運動条件を1.0Hzおよび0.5Hzで30サイクルの間、シミュレータを制御し、ビデオカメラによって連続的に撮影して解析を行った。Type Aにおいて動的運動における着脱突起の接触による荷重とそのベクトルを測定するため着脱突起の前後および内外側面に歪ゲージを取り付け

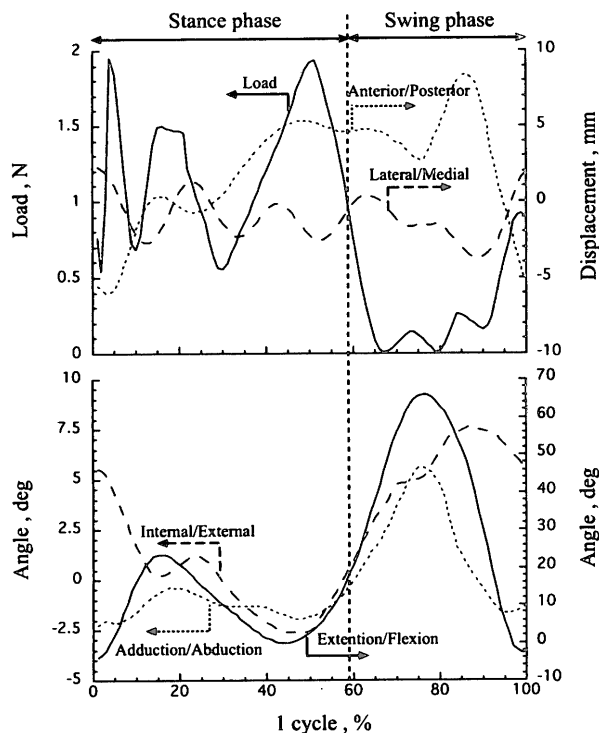


Fig.2 Load and 5-DOF motion during walking cycle.

た。なお、生体内の環境を模擬するため、37℃に保温した疑似関節液による潤滑条件下で実験を行った。潤滑液には人血清由来の分画蛋白（アルブミン2.0wt%， γ グロブリン1.0wt%）とリン脂質（ホスファチジルコリン0.2wt%）およびコレステロール（0.1wt%），アジ化ナトリウム（0.3wt%），ヒアルロン酸ナトリウム（ $M_w=2.0 \times 10^6$, 0.5wt%）を溶解した生理食塩溶液を用いた。

3. 結果および考察

Type Aについて静的条件と動的条件（1.0Hz, 0.5Hz）における脛骨コンポーネントに対するポリエチレンインサート相対運動の変化をFig.3に示す。動的条件では、20周期以降インサートの運動の変位が1.0mm以内に収束する傾向が認められたので、26周期目から30周期目の平均値を示した。

Type Aについて、前後方向の変位において静的、0.5Hzでは、20%付近で脛骨コンポーネントの着脱突起の前方部分に、70~80%付近で前方の突起部に衝突していたが、1.0Hzでは、60%付近で着脱突起の前方部分に、90%付近で前方の突起部に衝突していた。内外側の変位について、静的、1.0Hzでは、全体の約50%にわたって着脱突起および前方の突起部に衝突していたのに対し、0.5Hzでは、全体の80%が衝突していた。内外旋の変位においては、約 ± 3 度以内の小さな回転運動が確認された。静的、0.5Hz, 1.0Hzになるにつれて、回転運動の変位が小さくなっていく傾向が見られた。脛骨コンポーネントの着脱突起にかかる荷重の合力をFig.4に示す。0.5Hzの方が、1.0Hzの倍近く着脱突起に接触していた。さらに、着脱突起にかかっている荷重の合力は約100Nになることが確認された。

Type Bについて静的条件と動的条件（1.0Hz, 0.5Hz）における脛骨コンポーネントに対するポリエチレンインサート相対運動の変化をFig.5に示す。動的条件では、Type Aと同様

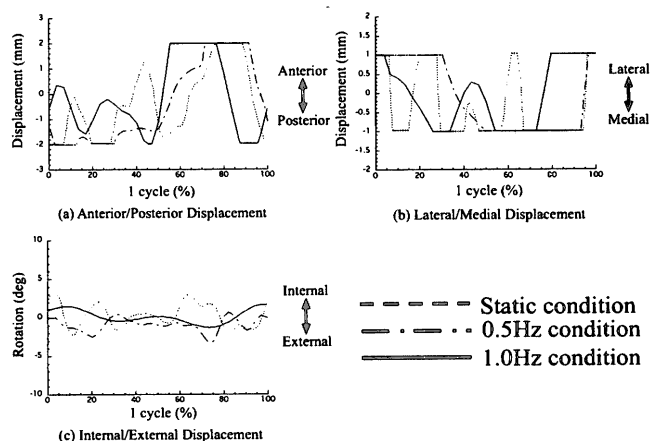


Fig.3 Displacement of polyethylene insert in a walking motion in Type A.

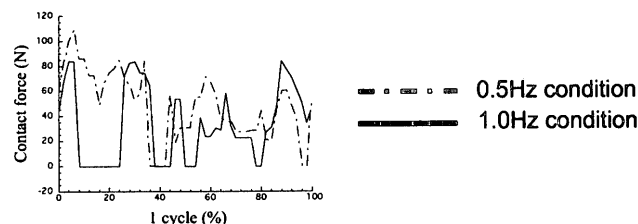


Fig.4 Contact force of central peg in Type A.

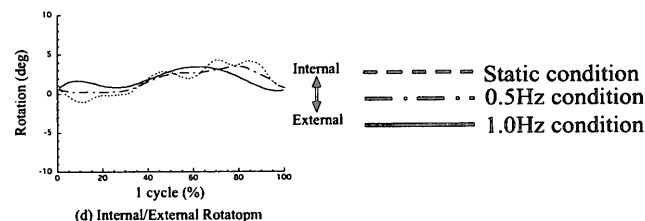


Fig.5 Displacement of polyethylene insert in a walking motion in Type B.

に20周期以降インサートの運動の変位が1.0mm以内に収束する傾向が認められたので、26周期目から30周期目の平均値を示した。0.5Hz, 1.0Hzについては常に内旋する傾向が見られ、内旋約5度、外旋約1度以内の小さな回転運動を行っていた。静的、0.5Hz, 1.0Hzになるにつれて、回転の変位が小さくなっていく傾向が確認された。

4. 結言

完全6自由度膝関節シミュレータを用いたモバイルベアリング式人工膝関節のインサートの動態評価により、以下のことが明らかとなった。

- Type A, Type Bにおいて、静的、0.5Hz, 1.0Hzと歩行周期が高くなるにつれて内外旋等の動きが複雑になり、インサートが運動に追従できないことが確認された。
- Type Aにおいて、前後方および内外側の並進運動によるポリエチレンインサートの着脱突起等の衝突荷重を測定できることが確認された。

以上のことから、モバイルベアリング式人工膝関節を設計する際、本研究の様な6自由度トライボシミュレータ試験による評価を組み込む事が有用であると考えられる。

文献

- 1) T.P.Andriacchi, J Biomech, Vol.120 (1998) 743-749
- 2) J.B.Morrison, Bio-Med., (3): 164-170, 1968