B111 スクワット動作時におけるCR型人工関節置換膝の動態解析

Motion Analysis in Squat Activity for CR Type Artificial Knee Implants

○学 福島 辰巳 (九産大) 正 日垣 秀彦 (九産大) 正 下戸 健 (JST)
正 中西 義孝 (九州大) 非 三浦 裕正 (九州大) 非 岩本 幸英 (九州大)

Tatsumi FUKUSHIMA, Kyushu Sangyo University, 2-3-1 Matsukadai, Higashi-ku, Fukuoka
Hidehiko HIGAKI, Kyushu Sangyo University
Takeshi SHIMOTO, Japan Science and Technology Agency
Yoshitaka NAKANISHI, Hiromasa MIURA and Yukihide IWAMOTO, Kyushu University

Key words: Total Knee Arthroplasty, Image Matching, Flat Panel Detector

1. 緒言

超高齢社会への移行に伴い、整形外科領域において関節リウマチ (Rheumatoid Arthritis) や変形性膝関節症 (Osteoarthritis) 等の疾患に対し、人工材料に置き換え生体関節が本来受け持つ軸受けとしての関節機能を代替する全人工膝関節置換術 (Total Knee Arthroplasty, TKA) が多用されている。現在、日本国内において年間4万件以上施行されており、注目される手術である。しかしながら、膝関節の複雑な6自由度運動に起因するポリエチレンインサートの摩耗が問題となっている。したがって、日常生活動作時の人工関節置換膝の解析を行い、大腿骨コンポーネントとポリエチレンインサートの相対関係を明らかにすることで、摩耗の問題が改善されと考えられる。動態解析の動作として、歩き運動、階段昇降、スクワット動作、および歩行等が対象として挙げられるが、スクワット動作時の動態解析はあまり行われていない。スクワット動作は、しゃがみ込んだり立ち上がりたりする動作であるため、日常生活で欠かせない動作の1つである。動態を明らかにすることで、QOL (Quality of life) の向上にも繋がると考えられる。そこで本研究では、フラットパネルディテクター (Flat panel detector, FPD) から出力される医用画像とイメージマッチング法 (Image matching, IM) を応用し、人工関節置換膝を対象にスクワット動作時の動態解析を行い、人工膝関節が示すキネマティクスについて考察した。

2. 対象および方法

本研究では、臨床で応用されている後十字靱帯温存型 (Cruciate-Retaining, CR) が置換されている膝関節を対象とした。被験者は女性4名の4膝、平均年齢 72.3 ± 7.9 歳、平均体重 56.5 ± 2.2 kg、および手術からの平均置換期間 12.8 ± 7.9 ヶ月であった。全例支持なく歩行が可能な症例であった。

本研究の動態解析は、FPDで得られたX線画像と、コンピュータによるシミュレーション像を一致するまで重ね合わせる手法である¹⁾。大腿骨コンポーネントと脛骨コンポーネントを用いて、本研究の手法による動態解析の検定を行った結果、表1のような二乗平均平方根偏差 (Root Mean Square Error, RMSE) で6自由度を測定できることを確認している。X線撮影風景を図1に示す。X線撮影は伸展位から被験者が可能なところまで屈曲し、再び伸展し最伸展位に達するまでを側面から連続で行った。得られた画像から大腿骨コンポーネントと脛骨コンポーネントの空間位置及び姿勢の6自由度をそれ

Table1 Accuracy of motion analysis using image matching

RMSE	Translation [mm]		rotation [deg]
	in-plane	out-of-plane	
femoral component	0.29	0.37	0.27
tibial component	0.23	0.30	0.25

Fig.1 View of squat activity

ぞれ算出し、各コンポーネント間の相対関係を導出した。

3. 結果および考察

脛骨コンポーネントから見た大腿骨コンポーネントの6自由度について、各被験者の変化値を図2に示す。グラフの実線は屈曲、破線は伸展していく様子を表している。横軸は屈曲角度を示しており、被験者A、BおよびCは最大屈曲角が約100度であったのに対し、被験者Dは約70度であった。内転/外転のグラフでは、大きな変位は見られなかった。内旋/外旋のグラフでは、屈曲時において全被験者共に外旋する傾向が表れた。被験者Bは約75度から最大屈曲位まで約4度内旋していた。被験者Cも若干だが約90度から内旋していた。伸展時には、全被験者共に内旋する傾向が表れた。下腿外旋・大腿内旋のスクリュホームムーブメントが確認さ

Fig.2 Pattern of rotation and translation of the femoral component with respect to the tibial component in squat activity

れた。内側/外側のグラフでは、内転/外転の回転運動の結果と同様に、大きな変位は見られなかった。前後方向のグラフでは、屈曲に伴い後方へ変位した。全被験者共にロールバックが確認された。被験者 A, B および C は約 20mm 変位していたが、被験者 D は約 12mm しか変位していなかった。被験者 D の最大屈曲角度である約 70 度付近までの変位量を他の被験者と比較すると、被験者 D の変位量は小さくなっていた。これは最大屈曲角度が小さいため、他の被験者に比べロールバックが起りにくく、後方への変位量が小さくなったと考えられる。上下方向のグラフでは、全被験者共に同じような軌跡であった。内転/外転、内側/外側および上下方向のグラフにおいて全被験者であまり差が見られなかったのは、大腿骨コンポーネントとポリエチレンインサートの形状適合が優先され、人工関節の形状に沿った動態になったことが考えられる。

屈曲角度の小さかった被験者 D のポリエチレンインサートに対する大腿骨コンポーネントの最接近点の軌跡を図 3 に示す。伸展位から最大屈曲位までを 0~100% とし、実線を屈曲、破線を伸展とした。ポリエチレンインサート顆間部での接触が見られ、メディアルピボットでの大きな回旋運動が確認できた。屈曲角度が大きかった被験者 A, B および C においては、顆間部と辺縁部付近で最接近点は集中しており、大きな変位は確認できなかった。被験者 D の屈曲角度が小さかった原因として、図 3 のような軌跡が確認できたことから、人工関節が片顆接触の不安定な動態となり屈曲が制限されたためと考えられる。

Fig.3 Maximum approach point on polyethylene insert in a squat activity

4. 結言

FPD から出力される医用画像と IM 法を応用することにより、スクワット動作時における人工関節置換膝の動態解析を行った。CR 型の人工膝関節は形状に沿った動態になりやすいことが確認された。今後さらに多くの症例を解析することで、スクワット動作動態パターンが確認できる。日常生活を同じ条件での動態解析は、次世代人工膝関節の設計に有用な情報を与える他、臨床において患者個々の診断（生活指導や歩行上の注意等）に応用することが期待される。

参考文献

- 1) 下戸健, 他, パイオメカニズム学会誌, 28(4):213-220, 2004