

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 3 日現在

機関番号：57102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700577

研究課題名(和文) 圧力分布測定装置を援用した膝関節力の算出

研究課題名(英文) Estimation of the Knee Joint Force using Pressure Distribution Sensor

研究代表者

福永 道彦 (Fukunaga, Michihiko)

有明工業高等専門学校・その他部局等・助教

研究者番号：90581710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：正座のような膝深屈曲動作時における膝関節への負荷を推定するための入力値として、大腿・下腿間の圧分布を測定し、接触力と作用点位置を求めた。そして、これらの測定値を膝屈曲角度の関数として、膝関節力算出モデルに導入した。その結果、膝関節力は大腿・下腿間の接触力を考慮することで、およそ3割の低減が見られた。また、算出モデル自体の妥当性に疑わしさがあったことから、特に協働筋の筋力比および運動による筋力のレバーアーム長の変化に着目し、これをパラメータとして膝関節力への影響を検討した。その結果、実測データとの整合性を向上することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to estimate the knee joint force during deep knee flexion, like Japanese "seiza", we measured the thigh-calf contact force, and the data were used as the input data of the model analysis for estimating the knee joint force. As a result, the estimated knee joint force reduced about 30% maximum at maximum flexion of the squatting posture. And more, for improve the analytical model, we put the ratio of the synergetic muscle forces as parameters, and put the moment arm lengths of the muscle forces around the joints as functions of the joint angles. As a result, the knee joint forces could be in good agreement with the in-vivo measured value.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：バイオメカニクス 膝深屈曲動作 下肢筋骨格モデル 膝関節力

1. 研究開始当初の背景

人工膝関節置換術の適用例は、近年の高齢者人口の増加や、材料やデザインの改良による耐久性の向上などにより、ますます増加の傾向にある。しかし、現用の人工膝関節の可動範囲は、最大屈曲角度が平均120°~130°程度であり、必ずしも日常生活に必要な可動範囲のすべてをカバーしていない。このことの原因としては、膝深屈曲動作自体の解析の難しさや、平地歩行が可能になれば患者にはかなりの恩恵があることはもちろんであるが、人工膝関節のほとんどが欧米のメーカーの製品であり、椅子やベッドでの生活様式では膝屈曲角度が130°を超えるような膝深屈曲動作をあまり必要としないことも一因であると考えられる。

しかし、日本をはじめとするアジアの地域における生活様式は、例えば正座のような床の上に直接座る動作が多く、その際には膝深屈曲動作が頻繁に現れる。また、アラブ圏においても、宗教的儀礼のために膝深屈曲動作が行われる。さらには欧米においても、入浴、園芸、靴下の着脱などにおいては膝深屈曲動作が行われているはずであり、深屈曲が可能な人工膝関節の開発に対する期待は、患者のQOL(生活の質)の向上に不可欠なものとして世界的に高まっている。

人工膝関節の設計を評価するためには、境界条件として、膝関節にかかる荷重や膝まわりの筋力などが必要になる。これらのデータは、一般に下肢の筋骨格モデルを用いた解析によって求められ、平地歩行のような動作を対象としたものは過去に例が多い。しかし、膝深屈曲動作を対象にした例はほとんどない。さらに、膝深屈曲動作においては、大腿と下腿の後方同士が接触するため、この接触力を考慮しなければ正確な膝関節力は求められないと考えられる。

また、近年では、例えば Kutzner らなどにより、人工膝関節に力覚センサを設置して膝関節力を実測する研究がなされている。これらを解析の結果と比較すると、平地歩行などではよく一致するが、膝屈曲角度が90°を超えるような動作では差が大きいという問題があった。このことから、解析モデル自体にも問題があると考えられる。例えば、モデル



図1 大腿下腿接触力の測定

解析における協働筋や拮抗筋の筋力比については、確たる根拠がないまま定められており、動作によっては適切でない可能性がある。また、関節が大きく動くような動作では、筋力の関節中心まわりのモーメントアーム長も大きく変化するため、これが膝関節力に影響を与える可能性も考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深屈曲動作中の膝関節力を推定することである。そのための入力値として、(1)大腿下腿接触力を測定した。また、算出結果の妥当性を向上させるため、下肢筋骨格モデルの改良をはかり、特に(2-1)協働筋の筋力比が膝関節力にどのような影響を与えるかについて検討した。さらに、(2-2)また、筋力の各関節まわりのモーメントアーム長を、関節角度の関数として設定した。また、膝関節力の算出に必要なデータの集積を目的として、(3)膝深屈曲を伴う様々な日常動作について、関節角度の測定を行った。

3. 研究の方法

(1)大腿下腿接触力の測定については、ニッタ株式会社の座圧測定システムであるCONFORMatを使用した。対象動作は蹲踞姿勢からの起立動作とし、大腿下腿間にセンサーを挟み込んで接触圧を測定した。実験風景を図1に示す。

(2)従来の計算モデルでは、大腿四頭筋と大腿広筋、ハムストリングスと大臀筋、腓腹筋とヒラメ筋の3組の協働筋の筋力比を1と定めていた。これらを変数パラメータとして、筋力比が筋力および膝関節力にどのように

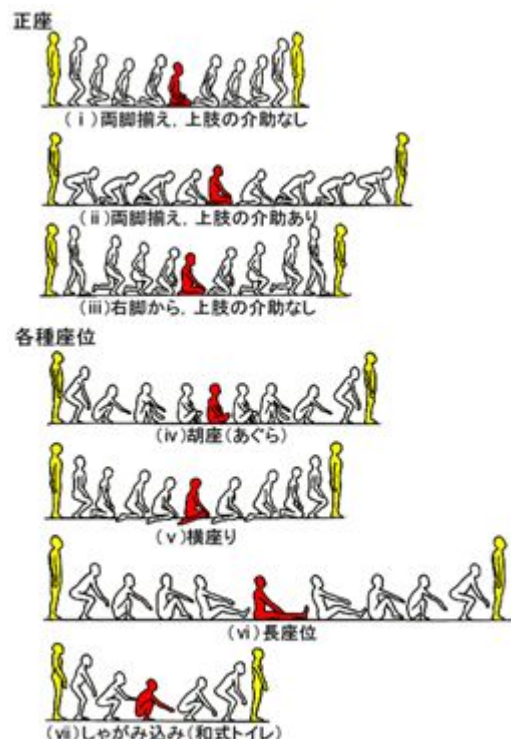


図2 膝深屈曲を伴う座位動作

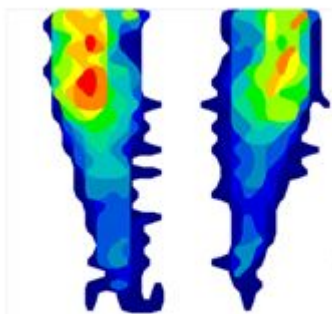
影響するか調べた。また、結果の妥当性を検証するため、Kutzner らによる膝関節力の実測値との比較を行った。また、筋力の関節まわりのモーメントアーム長については、矢状面上で関節中心まわりに各骨を回転し、筋の附着部を結ぶ直線を筋力作用線と考えて図式に求め、関節角度の関数とした。

(3)膝深屈曲を伴う日常動作として、とくに和式生活特有の座位動作に着目し、正座、胡坐、横座り、長座位、しゃがみこみ動作を対象とした(図2)。関節角度の測定には、磁気式位置姿勢測位システムを用い、これを骨盤・大腿・下腿に設置し、股関節と膝関節の三次元的な姿勢を測定した。そして、関節座標系に変換して関節角度を算出した。

4. 研究成果

(1)蹲踞状態での大腿下腿接触力の圧分布の一例が図3である。接触力および作用点位置は、膝屈曲角度の関数とすると被験者間でのばらつきが大きかったが、蹲踞状態での屈曲角度(ほぼ膝の最大屈曲角度と考えられる)を基準にして正規化したところ、ばらつきが低減し、被験者間の平均値を得た(図4)。これを膝関節力算出モデルに適用したところ、図5のような結果を得た。膝関節力は蹲踞状態で最大30%ほど(5[BW]→3.5[BW])低減した。また、従来の結果では膝関節力の最大値は蹲踞状態で見られたが、本研究では立ち上がり始めの時期に見られた(4.5[BW])。

↑ Ant.



↓ Post.

図3 大腿下腿間の接触圧分布

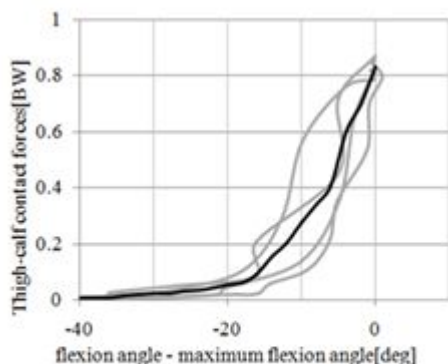


図4 大腿下腿接触力の測定値
(横軸は蹲踞状態からの膝屈曲角度)

(2)従来の結果と Kutzner らの実測値を比較すると、膝屈曲角度が 90° を超えるような動作で、膝関節の前後方向にかかる力が大きく推定されすぎていた。この問題は、ハムストリングスと大臀筋の筋力比を調整し、ハムストリングスの筋力を小さくすることにより、推定値を実測値に近づけることができた。図6が従来の結果と実測値の比較、図7は筋力比を調整した場合であり、対象動作は起立状態から膝を 90° 程度曲げる浅いスクワットである。筋力比の調整により、膝関節前後方向力 F_t が大きく低減し、実測値に近づいたのが確認できた。

さらに、ハムストリングス力が小さい条件では、大腿四頭筋と大腿広筋の筋力比は膝関節力にほとんど影響しなかった。また、腓腹筋とヒラメ筋の筋力比は、膝関節の脛骨軸方向成分に影響した。これらの筋力比を調整す

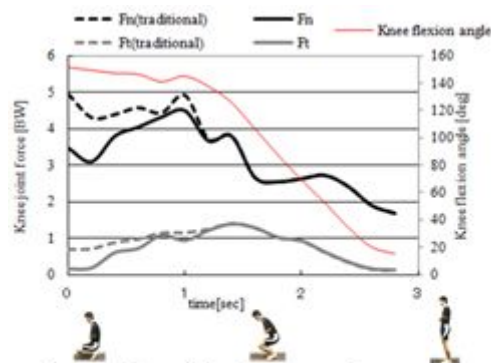


図5 大腿下腿接触力を考慮したことによる膝関節力の低減

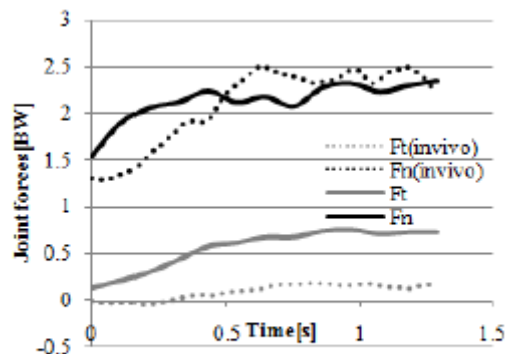


図6 従来のモデル解析の結果と実測値の比較

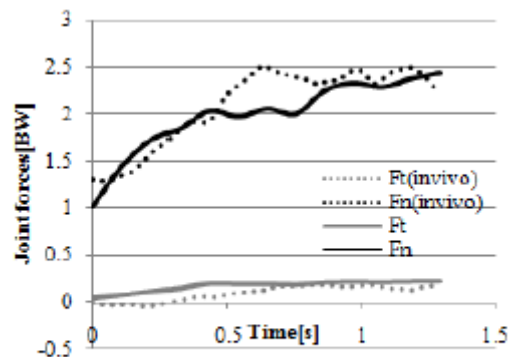


図7 協働筋の筋力比を調整したときの膝関節力と実測値の比較

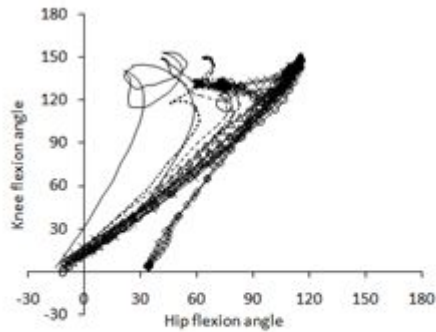


図8 座位動作における膝関節と股関節の屈曲角度の関係

ることにより、推定値を実測値とほぼ一致させることができた。しかし、この筋力比をどのように設定すべきかについては解決しておらず、今後の検討課題である。

また、筋力の関節中心まわりのモーメントアーム長を考慮することにより、膝関節力には変化が見られたものの、前後方向力にはあまり影響がなく、実測値との整合性を劇的に向上させる結果ではなかった。

(3)対象とした動作は全て膝深屈曲を伴い、平均最大屈曲角度は150°程度であった。また、正座を除く全ての動作においては、起立状態から座位状態に至る座り込み動作、および座位状態から起立姿勢に至る立ち上がり動作では、膝関節・股関節ともほぼ同様の傾向を示した。正座においては、膝屈曲角度の傾向は同様であったが、股関節の角度が他の座位の場合より小さめである特徴があった。このことから、座り込みおよび立ち上がり時にかかる膝関節力は、いずれの座位でも同様であると考えられる。

また、股関節と膝関節の角度には強い相関関係が見られた。図8に示したのは、縦軸に股関節屈曲角度、横軸に膝関節屈曲角度を取った相関図である。これら二関節の運動の相関は、股関節と膝関節に関わる二関節筋である大腿直筋やハムストリングスの機能と強い関わりがあるものと考えられる。そのため、このことは(2)で課題として残った「協働筋の筋力比を決定する条件」を検討する上で、重要な示唆を与える可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1) 福永道彦, 高口健司, 廣川俊二, 膝深屈曲時の大腿下腿接触力が膝関節力に与える影響, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol. 79, No. 806, pp. 3748-3755, 2013.
- 2) M. Fukunaga, K. Koguchi, S. Hirokawa, Estimation of the Knee Joint Force during Deep Knee Flexion, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, Vol.1, pp.101-104, 2013.
- 3) S. Hirokawa, M. Fukunaga, Knee Joint Forces When Rising from Kneeling Positions, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.8, No.1, pp. 27-39, 2013.
- 4) 福永道彦, 高口健司, 廣川俊二, 大臀筋とハムストリングスの筋力比が膝関節力に及

ぼす影響, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol. 78, No. 788, pp. 1192-1201, 2012.

〔学会発表〕(計 8 件)

- 1) 高口健司, 福永道彦, 膝深屈曲動作中の膝関節力の算出, 日本機械学会九州支部第 67 期講演会 (2014.3.13-14, 九州工業大学, 福岡)
- 2) K. Koguchi, M. Fukunaga, Effect of Thigh-calf Contact Force during Deep Knee Flexion to the Knee Joint Force, The Third International Symposium on Technology for Sustainability (2013.11.20-22, Hong Kong, China)
- 3) 福永道彦, 廣川俊二, 和式生活特有の座位動作中の股関節・膝関節角度の測定, 日本臨床バイオメカニクス学会第 40 回学術講演会 (2014.11.22-23, 神戸国際会議場, 兵庫)
- 4) 福永道彦, 廣川俊二, 床上への座位動作中の下肢関節角度の測定, 第 34 回バイオメカニクス学術講演会(2013.11.16-17, 国立障害者リハビリテーションセンター, 埼玉)
- 5) 高口健司, 福永道彦, 筋のモーメントアーム長を考慮した膝関節力の算出, 日本機械学会九州支部鹿児島後援会 (2013.9.27-28, 鹿児島大学, 鹿児島)
- 6) 廣川俊二, 福永道彦, 座位動作における下肢関節キネマティクスの測定, 第 23 回バイオメカニクスシンポジウム (2013.7.26-28, ホテルルビノ京都堀川, 京都)
- 7) M. Fukunaga, K. Koguchi, S. Hirokawa, Relation between the Ratio of Synergetic Muscle Forces and Knee Joint Force, International Conference on Biomechanics and Biomedical Engineering(2013.2.13-15, Kuala Lumpur, Malaysia)
- 8) 福永道彦, 高口健司, 廣川俊二, 協働筋の筋力比を考慮した膝関節力の算出, 第 33 回バイオメカニクス学術講演会 (2012.12.15-16, 東北大学, 宮城)

〔その他〕

ホームページ等

http://blog.livedoor.jp/ariake_biomech/

6. 研究組織

(1)研究代表者

福永 道彦 (FUKUNAGA MICHHIKO)

有明工業高等専門学校・助教

研究者番号: 90581710

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし