

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350660

研究課題名(和文)変形性膝関節症のためのサポーターの開発

研究課題名(英文)Development of supporters for osteoarthritis of knee

研究代表者

山本 智規 (Yamamoto, Tomonori)

愛媛大学・社会共創学部・准教授

研究者番号：30380257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：高齢社会の進行に伴い増加する変形性膝関節症(膝OA)の患者に対して、効果が早期に表れる膝OAの療法として装具療法が最も一般的であるが、従来の膝サポーターでは終末強制回旋運動(SHM)という健常者の膝関節運動の特徴を正確に再現できないという問題がある。本研究課題では、曲線状のシリンダ・ピストン機構をサポーターの関節機構に採用した。機構の曲率決定は、健常者の膝関節運動の計測結果をもとにしたモデルにより行った。設計した機構を3Dプリンタで出力し、構造の検討を行った。また、コンピュータ・シミュレーションにより、膝OAに対する矯正効果を及ぼす力を発生しうることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this study, as a fundamental approach to realize orthotic device for patients with osteoarthritis of the knee considering screw home movement, bending and extension movements of lower thigh of able-bodied persons are analyzed and inherent screw home movement is examined. The analyzed extension movement of lower thigh with screw home movement is mathematically modeled and the structure of an orthotic device is proposed based on the model. It is confirmed by the simulation based on FEM analysis that the force acting on the leg when using the proposed orthotic device is helpful to realize normal screw home movement and external rotation, which is expected to be useful for patients with osteoarthritis of the knee.

研究分野：福祉工学

キーワード：サポーター(装具) 曲線シリンダ 変形性膝関節症

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢社会の進行に伴い、加齢により生じる骨・関節などの疾患が増加している。その代表的な関節の疾患で膝に生じる変形性膝関節症(膝 OA)の患者が多く見られる。膝 OA とは主に加齢とともに軟骨が磨耗することにより関節炎を生じ、歩行中に痛みが生じる疾患であり、膝 OA 患者は健常者と膝関節の動きが異なることが確認されている。正常な膝関節の特徴として、主にやや外側に下腿部が膨らむ外転を行うことと、関節の最終伸展時に、脛骨が大腿骨に対し軽度の外旋運動を行う終末強制回旋運動(Screw home movement, 以下 SHM)を行うという 2 つの特徴が挙げられる。膝 OA の療法としては装具療法の装具が一般的であるが、従来のサポータでは、この 2 つの特徴を満たしていないものや、ギアとラックを使用しているため患者一人ひとりの足や症状に合わせるための微調整が難しいなどの欠点がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、前述の 2 つの特徴を満たす装具(サポータ)の開発を目指す。サポータ装着者に負担の掛からない、安価で装着者の特性に合わせたサポータを実現する為の基本的なアプローチとして以下のことを行う。まず、モーションセンサを用いて複数の被験者の膝関節の動作データを取得する。次に、取得したデータの解析を行うことにより、この 2 つの特徴を持つ健常者の代表的な膝関節運動の軌跡をモデル化する。この結果、得られたモデルを用い、従来の装具では再現できなかった正確な健常者の膝関節の動作を再現でき、装着者の形状に合わせやすい新しいサポータの機構を検討する。

3. 研究の方法

モーションセンサを使い、健常者の膝関節の動作を解析する。使用するモーションセンサは複数台のカメラの表面から赤外線を放射し、計測対象に取り付けた反射マーカの動作をカメラで取得するシステムである。膝関節の動作を解析しやすくするために、Fig.1 のように反射マーカの 1-2-3 番を上腿、4-5-6 番を下腿部に取り付け、7 番を右脚外側の膝の中心の側面に 1 つ取り付ける。ここで上腿部、下腿部にそれぞれ 3 つの反射マーカをそれぞれ取り付けるのは、モーションセンサ内で解析を行う際に、3 つ以上の反射マーカを使用して剛体を作成できる機能を利用するためである。実験開始後、座った状態の 10 人の被験者が脚を 10 回屈伸運動させることで、健常者の膝の動きのデータを取得する。このとき、沿具などを足に取り付けて計測すると、自然な動作データが得られない可能性がある為、軽量の反射マーカを用いて実験を行う。そして、モーションセンサから取得した X-Y-Z

座標を基に膝の動きの解析を行う。

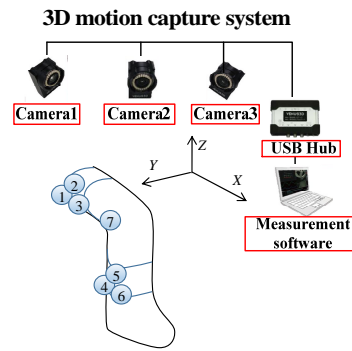


Fig.1 Position of markers to be measured.

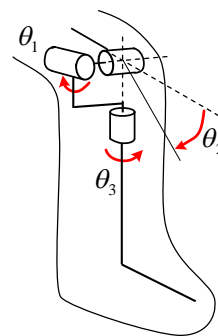


Fig.2 Definition of rotational angle of θ_1 , θ_2 , and θ_3 .

4. 研究成果

図 3 に 5 人の被験者に対する、 θ_2 と θ_1 に関する実験結果をひし形により示す。図を見てわかるように、 θ_2 が増加すると θ_1 がそれに伴い緩やかに減少する特徴が観測された。これは膝を曲げた状態から伸ばしていく際の特徴の一つである脚の外転を示していると考えられる。³⁾

この実験結果に対し、2 次多項式を用いた数式モデル表現を、最小二乗法を用いて試みた。その結果、次式のような数式表現を得ることができた。

$$\theta_1 = -0.0046\theta_2^2 + 0.4145\theta_2 - 0.045 \quad (1)$$

得られた近似曲線を図 3 に実線により示す。

次に、図 4 に 5 人の被験者に対する、 θ_2 と θ_3 に関する実験結果をひし形により示す。図を見てわかるように、 θ_2 が増加すると θ_3 がそれに伴い緩やかに増加する特徴が観測された。これは膝を曲げた状態から伸ばしていく際のもう一つの特徴である脚の終末強制回旋運動を示していると考えられる。³⁾

この実験結果の波形を観察すると、増加

途中に変曲点を有しているとみることができるので、3次多項式を用いた数式モデル表現を、最小二乗法を用いて試みた。その結果、次式のような数式表現を得ることができた。

$$\theta_3 = -0.0002\theta_2^3 - 0.0337\theta_2^2 + 1.977\theta_2 - 50.76 \quad (2)$$

得られた近似曲線を図4に実線により示す。

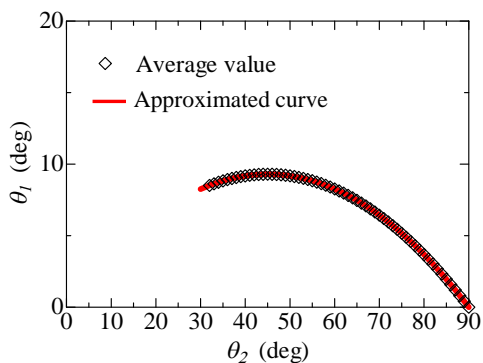


Fig.3 Relation between θ_2 and θ_1 , and its mathematical model

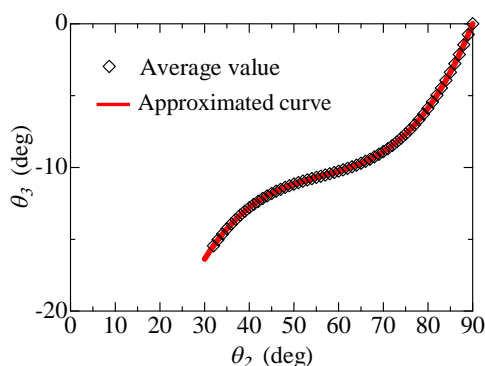


Fig.4 Relation between θ_2 and θ_3 , and its mathematical model

新しいサポータの機構として、Fig.5のような脚の内側と外側にそれぞれピストンとシリンダーの構造を利用した機構を提案する。ただし、図は右脚用であり、図の上側のピストン・シリンダーが脚の内側に配置され、下側のピストン・シリンダーが脚の外側に配置される。シリンダー摺動部では、下腿部側にピストン、上腿部側にシリンダーの構造となっており、回転により摺動が生成される。

摺動部のシリンダー（ピストン）を、 $x-y$ 平面内で内側と外側で異なる曲率とすることにより外転運動を実現し、 $y-z$ 平面内

で内側と外側で異なる曲率とすることにより終末回旋運動を実現する。

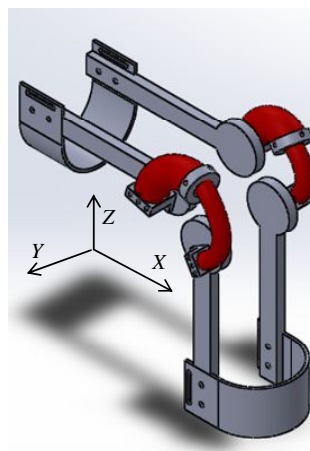


Fig.5 Proposed orthotic device

得られた下腿部内側部分の $x-y$ 平面内の軌跡は Fig.7 のようになり、半径 228.35mm の円弧に近似できた。 $x-z$ 平面内の軌跡は Fig.8 のようになり、半径 49.31mm に近似できた。

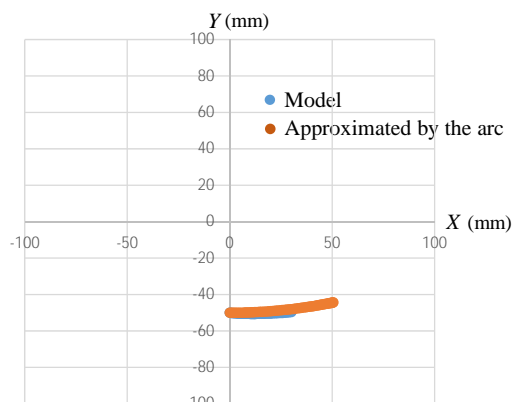


Fig.7 Position of the P and approximate value (X - Y axis)

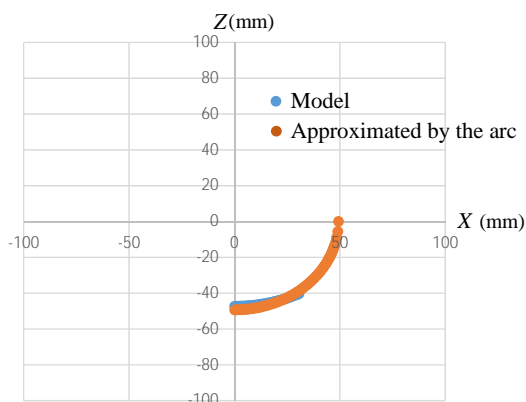


Fig.8 Position of the P and approximate value (X - Z axis)

下腿部外側サポート部分の形状は、下腿部内側サポート部分の形状をもとに決定する。まず、外側部分の曲線は、内側部分の動きを、脚幅を考慮してトレースしたものにすることがある。ここでは、脚幅を被験者の平均値を参考に 80mm に設定した。これに、サポートの構造(直径 20mm の円筒形)を考慮し、内側に対する外側のオフセットを 100mm にした。すなわち、Fig.7 において、 $X - Y$ 平面内の外側サポート部分の形状は内側円弧($R=228.35\text{mm}$)に対して 100mm だけ半径の小さい円弧($R=128.35\text{mm}$)を描くことになる。このとき、内側の円弧の中心角は、 $X - Z$ 平面において $Z = 0$ となる X の値($X=49.31$)を取るときの角度(12.5°)であり、外側の円弧についてもこの中心角となる円弧とする。また、 $X - Z$ 平面での形状については、内側円弧は半径 $R=49.31\text{mm}$ とする。外側円弧については、 $X - Y$ 平面での外側円弧の中心角度 12.5° を取るときの X の値($X=22.72\text{mm}$)を半径とする円弧とする。これらによってできた内側および外側円弧にそってピストンとシリンダを形成し動作させることで、望ましい下腿部の動きを生成できる。

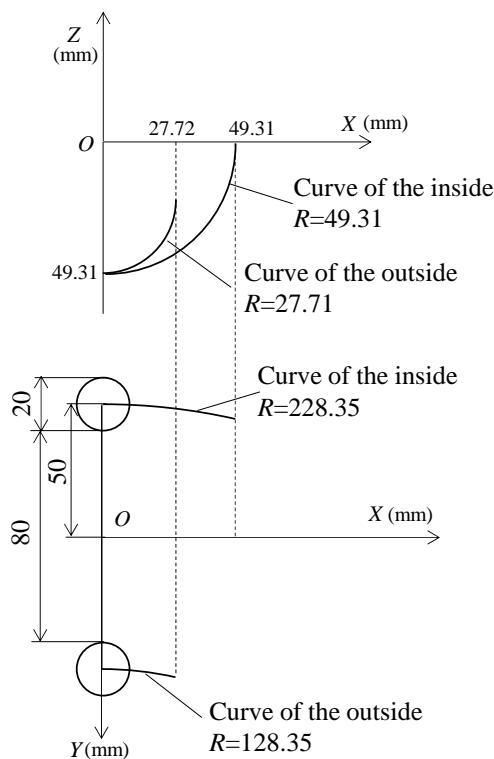


Fig.9 Determination of curvature radius

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

Fundamental approach on orthotic device for patients with osteoarthritis of knee considering screw home movement, Zhiqiang WU, Tomonori YAMAMOTO, Rafiuddin SYAM, Satoru SHIBATA, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.11, No.4, 10.1299/jbse.16-00275

〔学会発表〕(計 1件)

変形性膝関節症用サポーターの開発, 山本智規、柴田論、山本泰成、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 ,3P2-C01

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 関節装具

発明者: 山本智規, 柴田論, 山本泰成, 田中宏明

権利者: 同上

種類: 特願

番号: 2014-207037

出願年月日: 2014年10月8日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本智規 (YAMAMOTO, Tomonori)

愛媛大学・社会共創学部・准教授

研究者番号: 30380257

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

柴田論 (SHIBATA, Satoru)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10263956