

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650323

研究課題名(和文) 足関節受動抵抗の発生機序解明とその運動中の値の推定手法の開発

研究課題名(英文) Mechanism of passive joint moment (PJM) on ankle joint and estimation method of the PJM with ankle movement

研究代表者

内藤 尚(Naito, Hisashi)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40392203

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)：本研究では、まず、3次元非圧縮超弾性体の接触問題について解析可能な陰解法非線形有限要素ソルバを作成し、剛体力学系モデルと連成した問題を解くことができる枠組みを作った。その上で人体の骨形状CTデータを元にして、足部節および脛骨と腓骨の遠位部の骨格と靭帯について、それぞれを剛体とバネとして表し、骨同士の力学的相互作用を摩擦のない接触として足関節から足部の力学モデルを構築した。立脚期の荷重状態を模擬した際の受動抵抗特性を推定した結果、荷重時の受動抵抗の変化には関節面の形状の影響は無視できないほど大きいという可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we created a framework that consists of solvers of implicit nonlinear finite element method and rigid body dynamics, to analyse coupling problem between deformation behavior of three-dimensional incompressible hyperelastic body and rigid bodies with contact problem. Using the framework, a dynamical model of the foot that consists of ligaments and skeleton, which are represented as springs and rigid bodies, was constructed based on CT data of a human foot. Results of analyses about the passive joint moment during stance phase show the possibility that the shape of the articular surface plays a large role in the passive joint moment especially during stance phase.

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 関節受動抵抗 関節動態 シミュレーション解析 足部

1. 研究開始当初の背景

身体の関節では、受動運動に対して、中立位からの角度変化に比例して抵抗モーメントが発生することが知られており、それは関節受動抵抗と呼ばれている。関節受動抵抗の発生には関節面の形状、靭帯や関節包、筋腱複合体の拮抗関係、などが複合的に関わっているが、それらの要素それぞれが受動抵抗にどの程度影響しているかは明確になっていない。

研究代表者らは、受動的な筋張力が受動抵抗モーメントの主要な発生要因であるという仮説を設定し、Hill タイプの1次元筋モデルを用いた筋骨格モデルを利用し、筋モデルの弾性係数および自然長を調整することで、無荷重状態で計測した足関節周りの受動抵抗モーメントをよく再現できることを示した。しかしながら、この無負荷状態の受動抵抗モーメントを再現できるように調整した筋モデルを用いて、歩行時に足関節に発生するモーメントの計算を行うと、その値は実際に発揮されていたモーメントに比べて著しく低い値として見積もられる結果となった。このことから、関節受動抵抗は、無荷重時と荷重時とで、特性に著しい違いがありそれは筋以外の要素の影響が強く影響しているということが予見された。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、足関節周りの関節受動抵抗の発生機序を解明し、運動中に足関節周りに発揮されるモーメントに関節受動抵抗がどの程度影響しているか推定する手法を開発することである。通常、立脚時には筋が活動するため、直接関節受動抵抗を計測することは難しい。本課題では、荷重時と無荷重時の関節受動抵抗の変化について、足関節を構成する骨の位置関係、筋腱複合体の弾性要素の3次元的な伸びの2つの要素の影響を詳細に調べ、それらの要素を統合化した数値シミュレーションモデルを開発し、立脚時に下肢関節で発揮される関節受動抵抗モーメントの推定手法を提案する。

3. 研究の方法

本研究課題は、次の3つの主要なテーマから成り立っている。

- (1) 足部への荷重がない場合および立位を模擬した荷重を与えた場合の足関節構成骨および主要筋の計測
- (2) 筋モデルパラメータの抽出と3次元有限要素筋モデル作成およびそれを用いた足部筋骨格モデルの構築
- (3) 実測値と筋骨格モデルを用いた逆問題のアプローチによる関節受動抵抗モーメント発生機序の解明と立位時の関節受動抵抗モーメントの推定手法の提案

このように、本課題は実験的研究と計算力学的研究の2本柱より成り立っている。

4. 研究成果

初年度は、軟部組織の変形モデルを作成するために、3次元非圧縮超弾性体の接触問題について解析可能な陰解法非線形有限要素ソルバを作成し、剛体力学系モデルと連成した問題を解くことができる枠組みを作った(図1, 2)陰的時間積分法としては Newmark 法、一般化法、Houbolt 法を実装することとし、数値積分の時間刻みと問題の不連続性の強さに応じて、数値減衰の強い方法を選択するものとした。

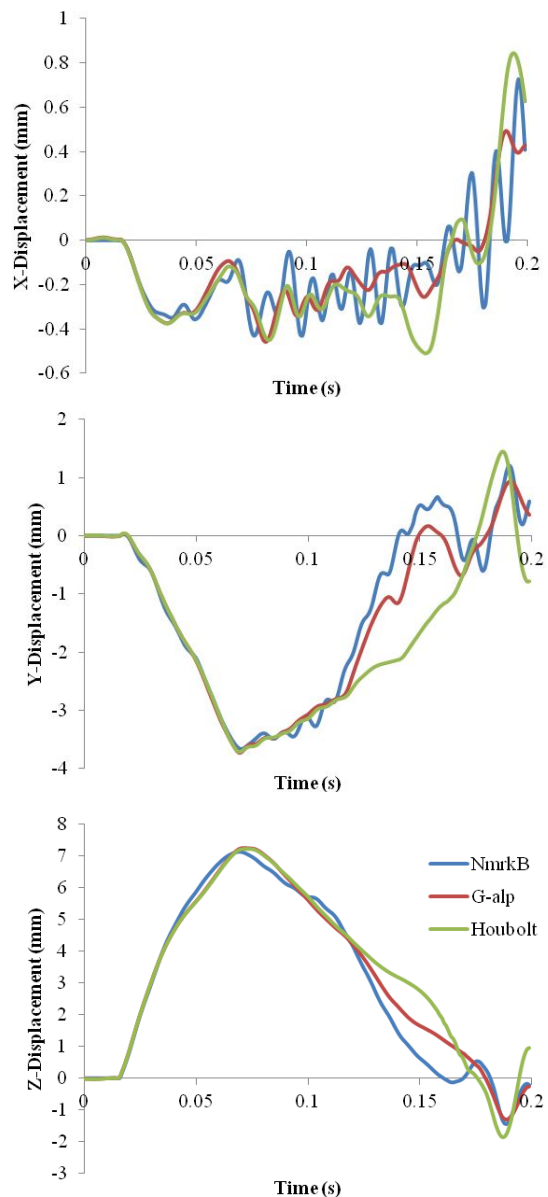


図1 柔軟な足部を持つ簡単なモデルによる床面との接触時における、ある足部節点の歩動についての時間積分法ごとの比較。

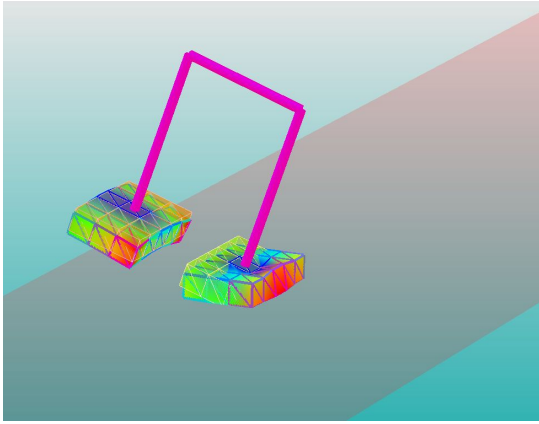


図2 柔軟な足部を持つ簡単なモデルによる床面との接触時の様子。

次年度は、人体の骨形状 CT データを元にして、足部節および脛骨と腓骨の遠位部の骨格と靭帯について、それぞれを剛体とバネとして表し、骨同士の力学的相互作用を摩擦のない接触として足関節から足部の力学モデル(図3)を構築した。また、構築したモデルを用いて、関節受動抵抗特性を計算し(図4)、これまでに実験により得られている受動特性と比較による靭帯パラメータのパラメータフィッティングを行った上で、立脚期の荷重状態を模擬した際の受動抵抗特性を推定した。その結果、立脚期を模擬した荷重により受動抵抗特性は変化するが、その変化の程度は予測されたものより小さなオーダの変化であった。

最終年度は、これまで構築したシミュレーションモデルを実際の荷重条件に容易に対応可能とするべく操作性の改良を行った。また、個別別のモデルを作成するためのシステムの構築を行い、モデルの作成法を提案した。前年度までの課題として、立脚期を模擬した荷重により受動抵抗は変化するが、その変化が小さいことの原因を解明することが残されていたが、本年度のモデルの改良によって、荷重条件を適切に設定することで、受動抵抗特性は大きな変化を示し、荷重時の受動抵抗の変化には関節面の影響が大きいという可能性を示した。

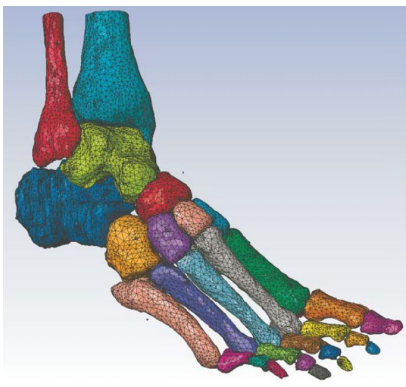


図3 足部骨格モデル

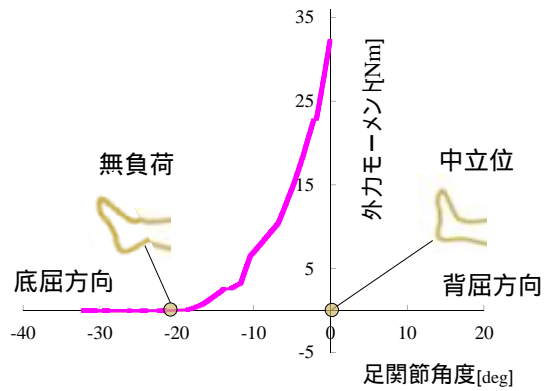


図4 足関節受動抵抗の解析結果の一例

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)

H. Naito, Y. Akazawa, A. Miura, T. Matsumoto, M. Tanaka, "Identification of Individual Muscle Length Parameters from Measurements of Passive Joint Moment around the Ankle Joint," Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol. 7, pp. 168-176, 2012.

〔学会発表〕(計11件)

内藤尚, 宇賀治元, 松本健志, 田中正夫, "骨と靭帯要素からなる剛体接触モデルによる足関節運動機能解析," 第34回バイオメカニズム講演会, 2013年11月16日, 国立障害者リハビリテーションセンター, 埼玉.

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, "足関節底屈筋の過緊張が代償運動に与える影響の歩行シミュレーションによる検討," LIFE2013, 2013年9月2日, 山梨大学, 山梨.

榎田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, "大腿義足歩行における身体負担の逆動力学解析による評価," 日本機械学会関西支部第88期定時総会講演会, 2013年3月17日, 大阪工業大学, 大阪.

榎田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, "大腿義足歩行における身体負担の逆動力学解析による評価," 第25回バイオエンジニアリング講演会, 2013年1月9日, 産総研つくばセンター, 茨城.

N. Nishizawa, K. Hase, H. Naito, "Biochemical Analysis of the Foot Arch Function Using a Forward Dynamic Walking Simulation," 23rd 2012 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2012年11月6日, 名古屋大学, 愛知.

内藤尚, Peter Eberhard, 松本健志, 田中正夫, “足部軟部組織と床面との接触・摩擦を考慮した身体歩行シミュレーションモデル開発の試み,” 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 10 日, 金沢大学, 石川.

重里賢一, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “膝関節をもつ二足受動歩行モデルの下腿節の機械的特性が歩行に与える影響,” 日本機械学会関西支部第 87 期定時総会講演会, 2012 年 3 月 17 日, 関西大学, 大阪.

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “Stiff knee gait シミュレーションに基づく下肢分回し動作と同側膝関節機能との関係の検討,” 第 24 回バイオエンジニアリング講演会, 2012 年 1 月 8 日, 大阪大学, 大阪.

榎田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “義足歩行解析のための筋骨格モデル構築,” 第 24 回バイオエンジニアリング講演会, 2012 年 1 月 8 日, 大阪大学, 大阪.

西澤教之, 長谷和徳, 内藤尚, 竹原昭一郎, “順動力学的シミュレーションによる足部の生体力学的解析,” 日本機械学会 2011 年度年次大会, 2011 年 9 月 13 日, 東京工業大学, 東京.

H. Naito, “Simulation of Prosthetic Walking using Neuro-Musculo-Skeletal Model and Application to Design Prosthesis,” ITM Status Seminar, 2011 年 7 月 18 日, Hohenwart, Germany.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 尚 (NAITO HISASHI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号：40392203