

機関番号：82404

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 年～2010 年

課題番号：20500640

研究課題名 (和文) 加齢による足部変形と装具に関する研究

研究課題名 (英文) The study of foot deformity with aging and orthotic management

研究代表者：高嶋 孝倫 (TAKASHIMA TAKAMICHI)

国立障害者リハビリテーションセンター (研究所)・研究所 義肢装具技術研究部・義肢装具士

研究者番号：00425654

研究成果の概要(和文)：本研究ではヒトの足アーチに加齢による変形が生じることに着目し、足アーチの機能的役割についてコンピュータシミュレーション解析により調べた。研究成果としては、第1に、ヒト足部の有限要素モデルを構築し、下肢順動力学モデルに実装し、これにより足アーチによる衝撃吸収効果を解析することが可能となるモデルを構築することができた。次に、順動力学モデルに足アーチ節を実装するモデルを開発し、歩行中のヒト足部の運動解析によって同定した足アーチ節粘弾性パラメータを導入し解析を行った結果、足アーチ節の弾性パラメータによって歩行中の全身のエネルギー効率が変化することが明らかとなり、特に、柔軟すぎるアーチ節をもつモデルでは、エネルギー効率が大きく悪化した。さらに、足アーチ節のパラメータ値を変化させることによって、加齢等による足アーチの状態変化をシミュレーションし、足部変形等について見解を示した。

研究成果の概要 (英文)： In this study, we focused on the deformity of the human foot arch with aging, and investigated functional roles of the foot arch by a computer simulation analysis. First, a simulation model was developed by combining the FE model of the human foot with a rigid link system based on forward dynamics simulation model of the lower limbs. Using the simulation model, a shockabsorbing effect of the foot arch was able to be analyzed. Second, the viscoelastic parameter of the arch link was determined by the motion analysis of the human foot in a gait and the whole body human forward dynamics model with “arch link” was developed. It was shown that the energy efficiency during walking was changed according to the value of the foot arch stiffness parameter, especially, walking with very low stiffness (soft) arch shows the lowest efficiency in the simulation trials. In addition, the state variation of the foot arch by aging was simulated by operating the value of the parameter of the arch link, in the result, a standpoint on the foot-ankle deformation was acquired.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2008 年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2009 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2010 年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：応用健康科学・加齢・老化

キーワード：加齢・老化，足部変形，装具

1. 研究開始当初の背景

ヒトの足の特徴はアーチ構造に代表される。その機能が現在の安定した二足歩行を実現していると言っても過言ではない。足のアーチ構造は解剖学に学ぶことが出来る。アーチを構成するのは骨・関節であり、結合組織として靭帯があり、さらに筋張力による挙上によってアーチ支持構造は成立する。本研究ではこれらをモデル化することにより、アーチ低下に代表される足部変形という形態的要因と支持力の変化という力学的要因との関係を明らかにするものである。

加齢による変化については横断的な症例対象研究のデザインとして、橋本(2007)によるアーチ高変化量の減少、村田(2007)の足把持力の低下など報告がある。しかし、症例の経過を追った縦断的な報告は見当たらない。固有足の経時変化を捉えた縦断的研究を実際に行うにあたっての困難さが原因するものと考えられる。具体的には足の愁訴を訴えて医学的治療が行われる場合には対症療法と今後の変形防止を主とした治療が施され、その原因に着目されることは少ないことが考えられる。また、時間を遡って予防することは不可能であるため予防法は推論の域を出ない。他に、健常高齢者群と足部変形の高齢者群とを比較するコホート研究のデザインも考えられるが、調査研究の域を出ることはなく、足部変形の原因を探求するものではないと考えている。

しかし、本研究ではコンピュータシミュレーションを取り入れた手法により、足部変形の原因を探るとともに、防止法などを取り入れた場合の経時的な変形予測が可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は加齢による足部変形のメカニズムを解析し、その防止策を提案することであり、これによって足部変形に原因する高齢者の歩行能力低下、運動不足、転倒、寝たきりといった悪循環を断ち切ることである。

また、足部変形の要因として各種の疾病があるが、ここではその観点ではなく、あくまで加齢変化によるものを対象とする。しかし、ここでの研究手法や成果は足部変形全般にわたるメカニズムの解明に寄与する。

3. 研究の方法

第1の手法として下肢剛体リンクモデルの足部節を有限要素モデルに置換し、立位・歩行時における下肢の挙動に足部節の応力分布変化に伴う大変形によって生じた関節間力を反映することを計画した。

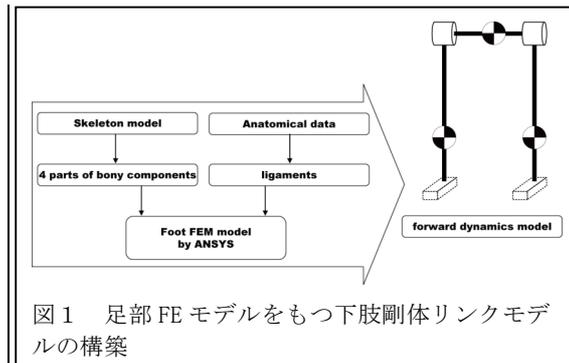
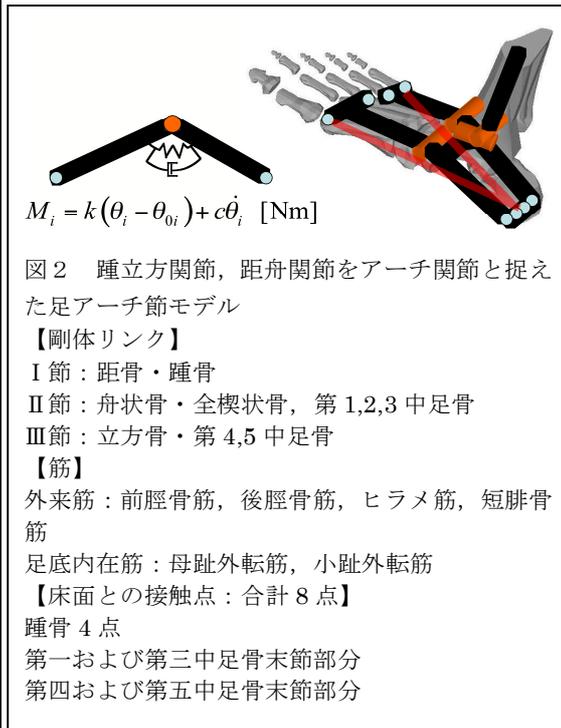


図1 足部FEモデルをもつ下肢剛体リンクモデルの構築



$$M_i = k(\theta_i - \theta_{0i}) + c\dot{\theta}_i \text{ [Nm]}$$

図2 踵立方関節、距舟関節をアーチ関節と捉えた足アーチ節モデル

【剛体リンク】

I節：距骨・踵骨

II節：舟状骨・全楔状骨、第1,2,3中足骨

III節：立方骨・第4,5中足骨

【筋】

外来筋：前脛骨筋、後脛骨筋、ヒラメ筋、短腓骨筋

足底内在筋：母趾外転筋、小趾外転筋

【床面との接点：合計8点】

踵骨4点

第一および第三中足骨末節部分

第四および第五中足骨末節部分

第2に、計算時間等の制約によりこの手法から順動力学モデルを用いた足部アーチを剛体リンクにモデル化する手法を選択した。長谷、内藤らによって開発された神経振動子をもつ筋骨格モデル(18リンク・33自由度、74筋)をベースに、足部節を図2に示す足アーチ節モデルに置換したモデルを構築し、遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ探索手法により歩行状態を生成した。

必要となる足アーチ節のパラメータは歩行中の足部変形を解析することにより取得した。

4. 研究成果

足部の有限要素モデルと下肢剛体リンクモデルを組み合わせ身体をモデリングし、順動力学的に運動を生成することのできる枠組みを構築した。簡単な計算例として下肢剛体リンクモデルの落下シミュレーションを行い、床面非接触状態から接触状態へ移行

し、立位が可能となることを示した。具体的には、鉛直方向の落下から接地し、その後すぐに大きな振動は収まる様子が現れた。一方、前後方向には、接地したあと振動が続いているが、これも徐々に減衰した。粘弾性体からなる足部と剛体リンク系からなる下肢骨格系を複合したモデルを作成することができた。

次に、足アーチ節を有する筋骨格モデルを用いて足部の挙動および全身の歩行運動の双方が受ける影響を調べた。足部の距舟関節、踵立方関節の受動抵抗特性を足アーチの変形剛性として捉え、そのパラメータとして健康者の歩行時における足部運動解析から得られた粘弾性値を与えた。さらに、その値を変更することによって、今回は、 k の値を弾性抵抗が働かない状態から関節を拘束するまでの間 ($k = 0, 1, 15, 100, 200, 400, \infty$) で変動させ、足部アーチの変形、各関節運動、床反力、そしてエネルギー消費についてシミュレーションを行った。その結果、足アーチの変形剛性の低下によってアーチの変形が著明に増加することを認めた (図3)。これにより、モデルの妥当性が示唆された。

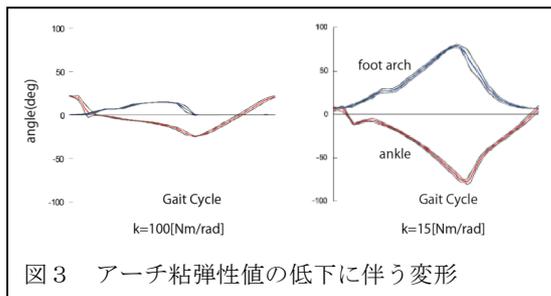


図3 アーチ粘弾性値の低下に伴う変形

また、算出した移動仕事率をエネルギー消費と捉え、アーチ変形剛性の低下に伴ってエネルギー消費が増加する傾向がみられた (図4)。これにより、ヒトの足アーチが歩行時のエネルギー消費に寄与している可能性が示唆された。

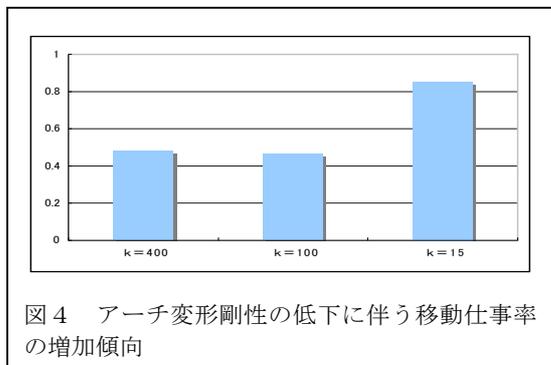


図4 アーチ変形剛性の低下に伴う移動仕事率の増加傾向

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2件)

- ① 丸山貴之, 高嶋孝倫, ”足部アーチの存在意義に着目した歩行解析手法”, 靴の医学, 査読有, 投稿中 25 巻掲載決定.
- ② 有菌裕樹, 星野元訓, 中村隆, 内藤尚, 高嶋孝倫, ”ロッカーによる足底圧分散について”, 国立障害者リハビリテーションセンター研究紀要, 査読有, 29 巻, 2009, pp71-77.

[学会発表] (計10件)

- ① 内藤尚, 高嶋孝倫, 田中正夫, ”足部アーチ形状および剛性が歩行に与える影響に関する数値シミュレーションを用いた検討”, 第26回日本義肢装具学会学術大会, 2010年10月24日, 川越プリンスホテル埼玉
- ② 内藤尚, 高嶋孝倫, 長谷和徳, 松本健志, 田中正夫, ”足部アーチの力学特性が歩行動作に与える影響に関するシミュレーション解析”, “生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, 2010年9月20日, 大阪大学豊中キャンパス 大阪.
- ③ 丸山貴之, 高嶋孝倫, “足部アーチに着目した歩行解析”, 第24回日本靴医学会学術集会, 2010年9月18日, 仙台市情報産業プラザ 宮城.
- ④ Takayuki Maruyama, Takamichi Takashima, Hisashi Naito, “Computer Simulation for the Effect of Foot Deformation.”, 13th International Society for Prosthetics and Orthotics World Congress, 2010年5月10日, Leipzig Germany.
- ⑤ 内藤尚, 高嶋孝倫, 松本健志, 田中正夫, 順動力学的歩行シミュレーションによる足部の力学挙動解析, 日本機械学会 第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010年1月9日, 岡山理科大学 岡山.
- ⑥ 高嶋孝倫, 内藤尚, 足部変形に対する装具の効果シミュレーション”, 第25回日本義肢装具学会学術大会, 2009年10月31日, 神戸国際会議場 兵庫.
- ⑦ 内藤尚, 高嶋孝倫, 松本健志, 田中正夫, “足部節の変形を考慮した二足歩行シミュレーションモデルの構築” 日本機械学会 福祉工学シンポジウム2009, 2009年9月25日, 高知工科大学 高知.
- ⑧ 星野元訓, 高嶋孝倫, “足底圧分散に関する一考察 ~ ロッカーソールと靴の高さについて ~”, 第16回日本義肢装具士協会学術大会, 2009年7月18日, 長崎ブリックホール 長崎.
- ⑨ 内藤尚, 高嶋孝倫, 松本健志, 田中正夫,

“順動力学的歩行シミュレーションによる足部の力学挙動解析”，日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演会，2009年1月23日，札幌コンベンションセンター 北海道。

- ⑩ 嶺也守寛, 高嶋孝倫, 藤本浩志, “短下肢装具設計過程における疲労評価手法”，第6回生活支援工学系連合大会，2008年9月19日，山口大学工学部 山口

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高嶋孝倫 (TAKASHIMA TAKAMICHI)

国立障害者リハビリテーションセンター

(研究所)・研究所 義肢装具技術研究部・
義肢装具士

研究者番号：00425654

(2) 研究分担者

内藤 尚 (NAITO HISASHI)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40392203

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

丸山貴之 (MARUYAMA TAKAYUKI)

国立障害者リハビリテーションセンター

(研究所)・研究所 義肢装具技術研究部・
義肢装具士

星野元訓 (HOSHINO MOTONORI)

国立障害者リハビリテーションセンター

(研究所)・研究所 義肢装具技術研究部・
義肢装具士