

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Neuromusculoskeletal Modeling and Computer Simulation of Human Locomotion Considering the Multi-Segmental Motion of the Trunk

Doctoral Program in Sport and Health Science
Graduate School of Sport and Health Science
Ritsumeikan University

クドウ ショウマ
KUDO Shoma

The goal of this dissertation was to establish the neuromusculoskeletal computer simulation system to enable the three-dimensional motion analysis considering the musculoskeletal contribution of the trunk.

First study quantitatively assessed geometrical deformation of the trunk during running, and the results revealed that the single rigid-body representation would overlook its deformable movement during human locomotion. Second study assessed the effect of trunk deformability on the resultant trunk kinematics during walking. The findings suggested that the number of rigid-body segments to model the trunk could significantly affect the resultant trunk kinematics, in which the small number of linked rigid-body representations would underestimate the actual trunk deformation during walking. Third study determined the optimal number of rigid-bodies of the trunk during walking by using Akaike's information criterion. The findings presented that both two- and three-linked rigid-body models would be better than one- and six-linked rigid-body representations for analyzing trunk movement during walking. The fourth and final studies attempted to simulate the cyclic walking motion by using the proposed musculoskeletal model. The results of this study demonstrated that cyclic walking motion on level ground was successfully simulated with comparable quality of the one previously established. However, the findings in this study suggested that further improvement should be required to represent the actual kinematic and kinetic data during walking and its energetics.

Overall, the findings in this dissertation will extend the conventional knowledge—which to date has been limited to the neuromusculoskeletal control of the lower and upper limbs during human walking—to the control of the entire body, including the trunk. Moreover, the musculoskeletal computer simulation system

presented in this study can be expected to further contribute toward a better understanding of the biomechanics of our neuromusculoskeletal system for designing an effective intervention to improve the physical activities and a healthy life-expectancy of humans.

博士論文要旨

論文題名：体幹部の多自由度運動を考慮した筋骨格モデルの構築と歩行動作のシミュレーション

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科
スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

クドウ ショウマ
工藤 将馬

本研究では、従来まで構築されていなかった、体幹部の自由度を考慮に入れたヒトの順・逆問題解析手法に基づいた筋骨格シミュレーションモデルを構築することを目的とし、以下5点の研究課題に取り組んだ。

【身体動作中の体幹部に生じる変形の評価】

走行動作中における体幹部の幾何学的形状の変化を時々刻々に定量化した。その結果、体幹部は走行動作中において部位毎に異なる運動をしていることが明らかとなった。このことから、体幹部を1つの剛体として捉えている従来の剛体モデルは、身体動作中の体幹部の複雑な運動を適切に捉えることが出来ていない可能性があることが明らかになった。

【剛体リンクモデルを用いて体幹部の運動を評価した際に生じるモデル化誤差の評価】

歩行動作中の体幹部の運動を複数の異なる剛体セグメントモデルで表現した際に生じるモデル誤差を定量化し、モデル間でその誤差を比較した。その結果、体幹部をモデル化するセグメントの数が增加することに伴ってモデル化誤差が減少したことから、体幹部の多自由度運動を表現する際にモデルのセグメント数が大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

【体幹部の多自由度運動を適切に表現する剛体リンクモデルの構築】

適合度と複雑性のバランスを考慮したモデルの評価指標を用いて、歩行動作中の体幹部の運動を表現する際に最適な剛体セグメント数を検討した。その結果、体幹部を骨盤、腹部、および胸部に分割した剛体リンクモデルを用いることが適合度と複雑性のバランスの点において最適であることが明らかとなった。

【体幹部の多自由度運動および体幹筋群の力発揮特性を考慮した筋骨格モデルの構築】

体幹部の多自由度運動を考慮に入れた剛体リンクモデルに90の筋モデルを組み込んだ筋骨格モデルを構築した。また、このモデルにおける筋骨格系の設定変数を独立的に変更することが可能なシミュレーションシステムを構築した。

【歩行動作のシミュレーションおよびシミュレーションシステムの妥当性の評価】

本研究で構築した筋骨格シミュレーションシステムを用いて歩行動作シミュレートした。その結果、本研究でシミュレートした歩行動作は、他のシミュレーション研究と同様の水準で再現することができていたものの、実測値から算出された運動学的データなど一

部に相違がみられた。このことから、本研究で構築したシミュレーションシステムは、他のシミュレーションシステムと同等の水準でヒトの歩行動作を評価することができるが、その結果の妥当性を向上させるためには、本システムのさらなる改善が必要であることが示唆された。

本研究では、従来まで明らかにされていなかった体幹部の運動および力発揮特性を評価するモデルの確立に成功し、体幹部の力発揮特性を考慮に入れた動作解析を可能にした。本シミュレーションシステムは、下肢および上肢筋群による身体運動の制御に留まっていた従来の知見に対して、体幹部を含めた全身の神経筋骨格制御にまで拡張するものであり、今後のヒトの運動メカニズムの理解に寄与することが期待できる。