

修士学位論文要約 (平成24年 3月)

## ウェアラブルセンサを用いた下肢関節モーメント計測法に関する基礎研究

森 裕章

指導教員：金井 浩， 研究指導教員：渡邊 高志

## A Basic Study on a Measurement Method of Lower Limb Joint Moment using Wireless Inertial Sensors

Hiroaki MORI

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research advisor: Takashi WATANABE

This study aimed to examine the feasibility of a measurement method of the lower limb joint moment using wearable inertial sensors. First, the joint moment measurement method without force plate was evaluated in squat movement and stand up movement. It was shown that the method could measure the joint moment with RMSE less than 0.15 Nm/kg. Then, inclination angle error that affects on joint moment measurement was examined. It was shown that RMSE should be less than 3 deg in all parts in order to achieve the RMSE less than 0.15 Nm/kg for the knee and the hip joint moments, and less than 1 deg in the shank and 3 deg in the thigh and trunk for all joint moments. Joint moment measurement using wearable inertial sensors were performed with 3 healthy subjects. It was found that the method could measure the joint moment of the knee and the hip with RMSE less than about 0.15 Nm/kg and high correlation coefficient for the squat movement. It was expected that the method could provide similar information as the result with the conventional method for movements with small inclination of the trunk.

## 1. はじめに

下肢筋力の低下や運動機能障害による起立障害は、日常生活における自立を阻害する大きな要因となっているため、能力の維持を強く求められている動作である。そのため、リハビリテーションや日常の運動などの重要性が高まっており、運動機能の定量的評価も求められている。

我々の研究グループでは、無線センサによる角度計測<sup>1)</sup>に関する研究を進めてきており、歩行動作中の傾斜角度や関節角度を計測するウェアラブルセンサシステムを構築してきた。このシステムを用いて、関節モーメントも同時に計測することができれば、手軽かつ多角的に運動を評価するとともに、動作の負担や効率を表すことができ、リハビリテーションでの指導や、トレーニング法の提案をするなど、リハビリ支援が可能であると考えられる。そこで、本研究では、ウェアラブルセンサを用いた下肢関節モーメント計測法の実現可能性の検討を目的とした。

## 2. 関節モーメント算出方法

関節モーメントは、一般に、3次元動作解析装置と床反力計とを用いて計測した結果から、剛体リンクモデルを適用して、運動方程式を用いて算出される。これに対し、本研究では、床反力計を使用しない計測方法<sup>2)</sup>を参考にし、傾斜角度をウェアラブルセンサを用いて計測し、関節モーメントを算出する手法を提案した。

まず、各リンクの重心位置と質量は、3次元動作解析装置から得られた各部位長、およびセンサから得られた傾斜角度を用いて、統計的に得られた重心比と体重比<sup>3)</sup>から算出した。傾斜角度および重心位置の定義を図1に示す。関節モーメントの算出に必要な重心位置の加速度、傾斜角度の角加速度は、3次の低域通過微分アルゴリズムを用いて算出した<sup>4)</sup>。

## 3. 床反力計を使用しない関節モーメント計測法の実現可能性の検討

床反力計を使用しない関節モーメント計測法の定量的な精度評価を行った。3次元動作解析装置(OPTOTRAK, NDI)と床反力計(9286A, KISTLER)、無線センサ(WAA-006, Wireless Technologies)を用

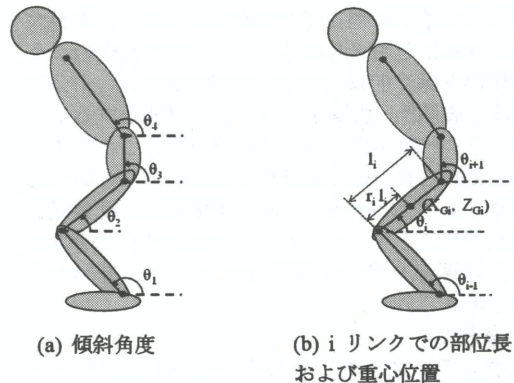


図1 各部位の傾斜角度および重心位置の定義

いて、スクワット動作(普通速度, 遅い速度)と起立動作(通常起立, 前傾起立)の計測を健康男性 2 名(21~22 歳)で行った. 参照信号は, 3 次元動作解析装置と床反力計を用いて算出した. 3 リンクモデルと 4 リンクモデルを用いて関節モーメントを算出した. スクワット動作では, リンク数による違いは見られず 0.10 Nm/kg 程度の RMSE で計測することができ, 起立動作では, 4 リンクモデルでは 0.15 Nm/kg 程度, 3 リンクモデルでは 0.20 Nm/kg を超える RMSE であった. また, RMSE が 0.15 Nm/kg 程度であれば, 参照信号とかなり一致していることを確認した.

4. 傾斜角度の許容範囲の検討

被験者 1 名のスクワット動作を対象とし, 関節モーメント計測において, ウェアラブルセンサによって計測する傾斜角度の誤差の影響を検討した. 図 2 に誤差を付加した際の関節モーメントの RMSE を示す. 図中の点線は, 0.15 Nm/kg を表す. 膝関節, 股関節モーメントのみに着目すると, RMSE が 3 deg 以下であれば 0.15 Nm/kg 以下の誤差となった. しかし, 全ての関節モーメントが 0.15 Nm/kg 以下になるためには, 下腿部 1 deg, 大腿部 3 deg, 体幹部 3 deg 以下の誤差である必要があることが確認された.

5. 提案手法での関節モーメント誤差低減の検討

予備実験において, 腰部の角度計測誤差が大きくなったため, 3 リンクモデルを用いて健康被験者での関節モーメント計測を評価した. センサは, 下腿部と大腿部は身体側面, 体幹部は肩甲骨の間に装着した. スクワット動作と起立動作中の関節モーメントを算出し, 相関係数と RMSE を求めた結果を図 3, 図 4 に示す. スクワット動作では, 誤差付加による結果と同様の傾向が見られたため, 全ての関節モーメント誤差を低減させるためには, 下腿部の傾斜角度誤差を低減させる必要があると考えられる. 起立動作では, 座位と立位でのオフセット誤差が異なり, センサで計測した傾斜角度を適切に補正できなかったため, 誤差が大きくなったと考えられる. スクワット動作のように体幹を深く前傾させない運動であれば, 十分な精度で膝関節, 股関節モーメント計測をすることができ, 一般手法と類似の情報を得ることができると期待され, 追跡調査などに用いることが可能になると考えられる. また, 下腿部の角度誤差を低減することで, ウェアラブルセンサシステムにより足関節を含めた関節モーメントを計測できると考えられる.

6. まとめ

ウェアラブルセンサのみを用いた関節モーメント計測法の実現可能性の検討を行い, 一般手法

と類似の情報を取得できることを示唆する結果を得た. 今後は, ウェアラブルセンサで計測する下腿部の傾斜角度の誤差を低減するとともに, 様々な動作に対応するため, 4 リンクモデルに相当する傾斜角度計測法を確立することが課題である.

文献

- 1) 齋藤広樹他, 歩行解析のためのウェアラブルセンサシステムの試作と評価, 平成 21 年度電気関係学会東北支部連合大会, p.165, 2009
- 2) 栗田裕他, CCDカメラを用いたリアルタイム動作解析, 日本機械学会論文集(C 編)74 巻 742 号(2008-6), pp178-185, 2008
- 3) 佐藤方彦他, 人間工学基準数値式式便覧, 技報堂出版, pp42-50, 1992
- 4) Usui,S, et al.,Digital Low-Pass Differentiation for Biological Signal Processing, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.29, No.10, pp686-693, 1982

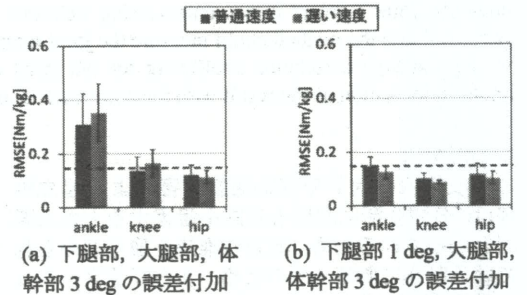


図 2 誤差付加時の関節モーメントの RMSE

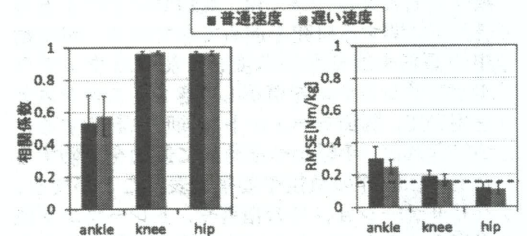


図 3 スクワット動作における関節モーメントの相関係数および RMSE

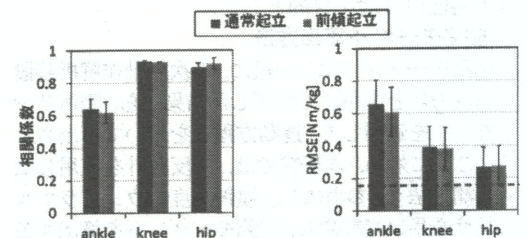


図 4 起立動作における関節モーメントの相関係数および RMSE