

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：33501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K24326

研究課題名（和文）慣性センサを用いた日常生活動作における関節負荷の評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a method for evaluating joint load in activities of daily living using inertial sensors

研究代表者

小山 優美子（Koyama, Yumiko）

帝京科学大学・医療科学部・助教

研究者番号：00845042

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は慣性センサを用いた歩行中の関節への力学的負荷の評価法を、若年健康者を対象に検討することである。対象者には快適歩行を行わせ、その際の運動学的、運動力学的データを三次元動作解析装置ならびに慣性センサを使用して計測した。その結果、下腿の前傾角速度ならびに上部体幹に対する相対的な下腿の前傾角速度大きいほど外的膝関節屈曲モーメントが大きいことが示された。また、重回帰分析を行ったところ、上部体幹に対する相対的な下腿の前傾角速度のみが有意な関連因子として抽出された。膝関節の矢状面での力学的負荷の推定には、体幹の運動にも着目し、下肢の運動を体幹の相対値として計測することが有用であると示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、慣性センサによる動作解析技術は急速に発展しており、センサのみで精度の高い関節トルクの推定が可能となった。しかし、現状では高精度の推定には高度な技術を要するなど、実用性の改善を要するものであり、加速度データそのものより得られる情報から動作の評価を行えることは、実用性の観点から優れている。本研究結果より、慣性センサの角速度データを用いて、膝関節の矢状面での力学的負荷を推定できる可能性が示唆された。さらに体幹部との相対的な下肢の回転速度を計測することでより精度の高い推定が可能となることが示された。本研究は慣性センサの応用性を拡大させ、下肢関節の負荷の少ない身体運動の制御方法の解明に繋がる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a method for evaluating the mechanical load on joints during walking using inertial sensors in young healthy subjects. The subjects were asked to walk in self-selected speed, and the kinematic and kinematic data were measured using a three-dimensional motion analysis system and inertial sensors. As a result, it was shown that external knee joint flexion moment was significantly correlated to the forward tilt angular velocity of the shank and the forward tilt angular velocity of the shank relative to the upper trunk. In addition, when multiple regression analysis was performed, only the anterior tilt angular rate of the shank relative to the upper trunk was extracted as a predictor. In estimating the mechanical load on the sagittal plane of the knee joint, it is useful to focus on trunk movement and measure lower limb movement as relative values of the trunk.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：慣性センサ 関節負荷 動作分析

1. 研究開始当初の背景

近年、本邦における高齢化率は増加の一途を辿り、内閣府の発表では2035年には国民の3人に1人が65歳以上となることが予想されている。高齢化に伴う医療費の増加や労働人口の減少を防ぐ上でも、中高齢者の健康寿命を延伸することが重要となる。しかし、約2530万人が変形性膝関節症と診断されているように、多くの中高齢者が変形性関節症(以下、OA)による関節機能異常から、日常生活活動に困難を来している。OAの発症リスクは加齢や過度な関節への負荷により増加することから、加齢に伴う日常生活動作の変化を予防することは有益となる。特に、大きな下肢筋力や関節可動域を要する(Nadeau et al. 2003) 起立・着座や階段昇降は高齢者、OA患者の中でも障害が生じやすく、高齢者の転倒の約10%は階段にて起こることも報告されている(Startzell et al. 2000)。よってその動作の評価を行うことは、多くの高齢者の生活機能の維持に繋がる。

申請者はこれまでに、実験室で計測、算出した歩行時の股関節の力学的負荷と歩数計で計測した活動量の合算から、日常生活での下肢の力学的負荷が過剰となることでOA患者の関節破壊が加速することを明らかにした(Tateuchi, Koyama et al. 2017)。負荷の評価に当たり、歩数計で簡単に計測できる動作の反復回数だけでなく、1回の動作で生じる力学的負荷を考慮することが重要であることを示したが、3次元動作解析装置を用いる力学的負荷の評価は可搬性に乏しく、特に高齢者には負担を強いものとなる。そこで、比較的安価かつ可搬性の高い慣性センサの応用により関節への負荷を簡単に計測できれば、実用性、汎用性の観点から大きな恩恵をもたらすことが期待できる。

また、起立動作や階段昇降動作の特徴として、身体重心の上下方向の移動が大きいことが挙げられ(Chung et al. 1990) この身体重心の加速度特性を分析することで動作の安定性が評価されてきた(Dixon et al. 2018)。しかし、それらの研究では関節への負荷については言及されていない。OAのような下肢関節の退行性疾患の発症リスクを抱える中高齢者にとって、身体全体の運動だけでなく各関節の力学的負荷が推定できる評価法の開発が必要となる。さらに、身体重心の加速度特性と下肢関節の加速度特性の関連を明らかにすることで、下肢関節の負荷の少ない身体運動の制御方法の解明に繋がる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、慣性センサを用いた移動動作中の関節への力学的負荷の評価法を若年健常者及び関節痛のない対象に検討し、関節疾患患者ならびに高齢者への応用について考えることである。

近年、慣性センサによる動作解析技術は国内外で急速に発展しており、センサから直接得られる加速度あるいは角速度情報の分析のみでなく、センサのみで精度の高い関節トルクの推定が可能となった(Kodama, et al. 2016)。しかし、現状では高精度の推定には高度なセンシング技術を要するなど、実用性の改善を要するものであり、加速度データそのものより得られる情報から動作の評価を行えることは、実用性の観点から優れていると考えられる。

また、慣性センサを使用した高齢者の動作分析について、身体重心の加速度特性から動作の安定性(Fujimoto et al. 2014)や歩行の定常性(Cavanaugh et al. 2010)の評価にこれまで用いられているが、関節負荷の評価を行っている研究はない。

以上より、本研究は慣性センサの応用性を従来よりもさらに拡大させることができるとともに、医療現場内外で行える評価法の開発につながると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 対象

対象は若年健常成人21名(男性12名女性9名、年齢 20.3 ± 9 歳)とした。対象者の除外基準は歩行等、移動動作に影響を及ぼす整形外科的あるいは神経学的疾患を有する者とした。

(2) 方法

対象者には快適歩行を行わせ、その際の運動学的、運動力学的データを収集した。運動学的、運動力学的データの収集には3次元動作解析装置(VICON社製)ならびに床反力計(AMTI社製)を使用し、歩行時の下肢関節角度ならびに外的関節モーメントを計測した。また、前述の運動学的、運動力学的データと同時に慣性センサ(ZMP社9軸ワイヤレスモーションセンサZMP IMU-Z2 & SDK)を使用し、上部体幹(第10胸椎棘突起)、骨盤(仙骨後面)、大腿、下腿、足背にそれぞれセンサを貼付して、各体節の回転角速度ならびに並進加速度を計測した。

(3) 分析

膝関節への力学的負荷の指標として外的膝関節屈曲モーメント(KFM)ならびに内反モーメント(KAM)の最大値を算出した(図1)。また、歩行の接地直後に生じる膝関節屈曲運動の変化と外的膝関節屈曲モーメントの変化の関係を表すDynamic Joint Stiffness(以下、DJS)を、初期接地～荷重応答期における膝関節屈曲角度と外的関節モーメントを座標にプロットし、一次回帰直線を求めその傾きとして算出した(図2)。

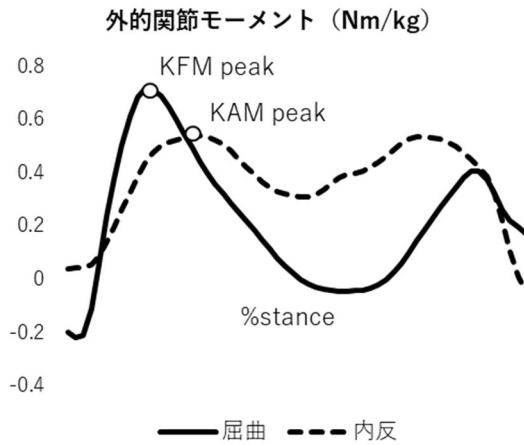


図1

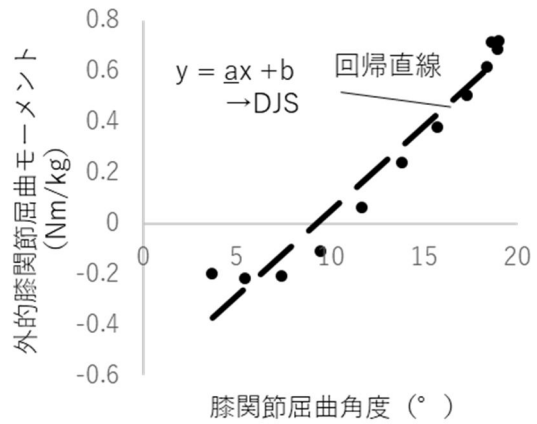


図2

慣性センサのデータより、矢状面での膝関節の運動を表す指標として、下腿の矢状面での回転角速度を抽出し、さらに上部体幹、骨盤、大腿の回転角速度からの相対的な角速度を求めた。歩行の接地直後の下腿の前傾方向への回転角速度の最大値を分析に用いた(図3)。また、さらに前額面での運動を表す指標として、下腿の前額面での回転角速度を抽出し、矢状面と同様に体幹、骨盤、大腿の回転角速度からの相対的な角速度を求めた。前額面の運動については、歩行の接地直後の下腿の外側方向への回転角速度の最大値を分析に用いた(図4)。

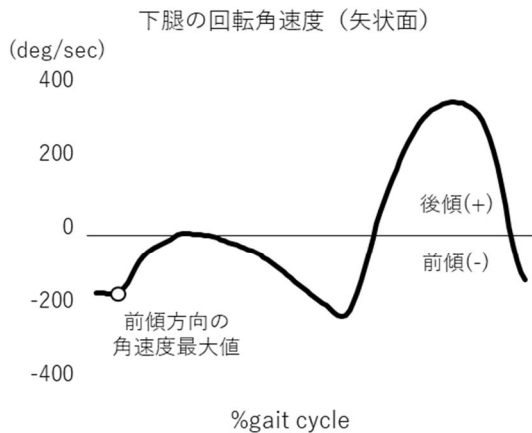


図3

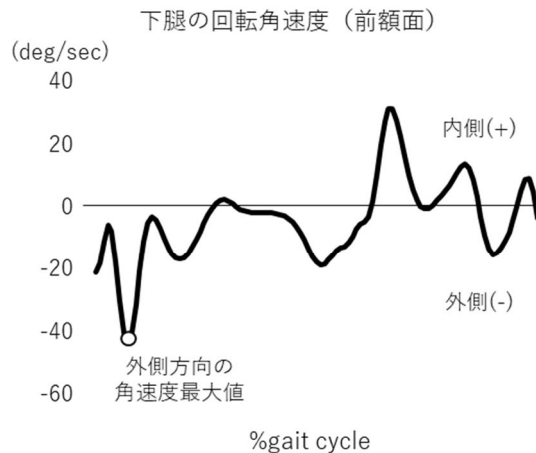


図4

4. 研究成果

(1) 矢状面での力学的負荷 (KFM ならびに DJS) と慣性センサより得られた回転角速度、加速度の関連について、接地直後の下腿の前傾角速度と KFM の間に統計学的に有意な相関がみられ、下腿の前傾角速度が大きいほど外的膝関節屈曲モーメントが大きいことが示された ($r=0.482, p<0.05$)。これはランニング時の膝関節の力学的負荷を観察した先行研究 (Sigward, et al. 2016) と一致する結果となった。さらに、矢状面における上部体幹の回転角速度に対する下腿の相対的な角速度との関連においても、KFM との間に統計学的に有意な相関がみられ、上部体幹に対して下腿の前傾角速度が大きいほど外的膝関節屈曲モーメントが大きいことが示された ($r=-0.568, p<0.01$)。また、下腿の前傾角速度ならびに上部体幹に対する相対的な下腿の前傾角速度を独立変数とし、KFM を従属変数とする重回帰分析を行ったところ、上部体幹に対する相対的な下腿の前傾角速度のみが有意な関連因子として抽出された ($R^2=0.322, p<0.001$)。上部体幹に貼付したセンサは体幹全体の回転を表すことから、膝関節の矢状面での力学的負荷の推定には、体幹の運動にも着目し、下肢の運動を体幹の相対値として計測することが有用であると示唆された。

(2) 前額面での矢状面での力学的負荷 (KAM) と慣性センサより得られた回転角速度、加速度の関連については、統計学的に有意な相関は見られなかった。これは、矢状面での運動に比べて前額面での運動が小さいため、軟部組織によるアーチファクト等で正確な前額面での運動を慣性センサで計測することが困難であったことが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kaoru Sakuma, Hiroshige Tateuchi, Satoru Nishishita, Yusuke Okita, Ryosuke Kitatani, Yumiko Koyama, Satoko Ibuki, Noriaki Ichihashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Immediate effects of stance and swing phase training on gait in patients with stroke	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Rehabilitation Research	6. 最初と最後の頁 ahead of print
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/mrr.0000000000000464	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abbigail L Fietzer, Yumiko Koyama, Kornelia Kulig	4. 巻 21(4)
2. 論文標題 Movement variability response to change in the rate of hopping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta of bioengineering and biomechanics	6. 最初と最後の頁 37-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.humov.2018.09.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kaoru Sakuma, Hiroshige Tateuchi, Satoru Nishishita, Yusuke Okita, Ryosuke Kitatani, Yumiko Koyama, Satoko Ibuki, Noriaki Ichihashi	4. 巻 45(4)
2. 論文標題 Gait kinematics and physical function that most affect intralimb coordination in patients with stroke	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neurorehabilitation	6. 最初と最後の頁 493-499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/NRE-192923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Junta Iguchi, Tatsuya Hojo, Yoshihiko Fujisawa, Ko Yanase, Kenji Kuzuhara, Tetsuya Hirono, Yumiko Koyama, Hiroshige Tateuchi, Noriaki Ichihashi
2. 発表標題 Gluteus maximus delayed onset muscle soreness effects on lower limb muscle activity and biomechanics during sprinting
3. 学会等名 ECSS Virtual Congress 2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 市橋則明（編）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 404
3. 書名 理学療法プログラムデザイン 運動器（上肢・体幹）・高齢者編	

1. 著者名 市橋則明（編）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 340
3. 書名 理学療法プログラムデザイン 運動器(下肢)編	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------