

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：51303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23309

研究課題名（和文）IMUと機械学習を用いた膝関節の歩行時異常パターンの検出

研究課題名（英文）Detection of abnormal gait pattern in knee joint using inertial measurement unit and machine learning

研究代表者

小松 瞭 (Komatsu, Akira)

仙台高等専門学校・総合工学科・助教

研究者番号：10881469

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：変形性膝関節症など運動器疾患は病態進行に応じて痛みや変形をきたすため、医師や理学療法士らの歩行観察による異常動作の定性的評価がなされてきた。その一方で、光学式モーションキャプチャを用いた定量的な歩行解析が多数報告されてきたものの、簡便な歩行解析の実現には至っていない。本研究では小型で安価な慣性センサ（Inertial Measurement Unit、以下IMU）にセンサ・フュージョンや時系列解析を組み込んだ歩行解析システムを構築し、解析システムの有用性を検証した。その結果、患者特有の運動学的変化の定量評価を実現できること、また歩行周期の検出遅れの少ないシステムを構築できたことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに様々な歩行解析に関する研究が種々行われてきたが、その多くはモーションキャプチャを主として用いた研究であり、IMUを用いた研究の多くは健常者を対象としていたため患者歩行の定量評価については数少ない。本研究で構築したシステムによって病態進行を有する運動器疾患特有の運動変化を定量評価できると示唆されるため、今後応用することによって他の疾患においてもIMUを用いた歩行解析による評価が実施できることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Quantitative gait analysis using optical motion capture has been extensively reported, while qualitative evaluations of anomaly movements through gait observation by medical doctor and physical therapists have been conducted for musculoskeletal disorders such as knee osteoarthritis, which can cause pain and deformity as the disease progresses. However, achieving a simple gait analysis has not been realized. In this study, we constructed a gait analysis system incorporating sensor fusion and time series analysis into a small and inexpensive inertial sensor (Inertial Measurement Unit, IMU), and verified the utility of these analysis systems. As a result, it was suggested that it was possible to achieve a quantitative assessment of kinematic changes specific to patients with knee osteoarthritis and that a system with minimal delay in detecting gait cycles could be constructed.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：IMU 歩行解析 センサ・フュージョン 時系列解析

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症は腰痛の次に多いとされている運動器疾患の一つであり、その患者数は我が国において約 2530 万人であるとされている。変形性膝関節症の病態が進行することで、膝関節の中で炎症が起こり、痛みが生じる。そのため患者は歩きづらくなり、日常生活において様々な困難が生じてしまう。変形性膝関節症患者の運動学的な特性として、膝関節角度の増減が見られる。特に膝関節屈曲角度の減少や内反角度の増加は患者特有の現象としてしばしば観察される。これらの特徴を捉えて病態がどのように進行しているかを数値化し評価することは重要である。

運動学特性の評価は医師や理学療法士が観察によって定性的にその有無を判断する。この定性的な評価方法に対し、光学式モーションキャプチャを用いた三次元動作計測による歩行解析によって関節角度や種々の歩行に関するパラメータを定量的に評価する事例が報告されている。

2. 研究の目的

本研究では光学式モーションキャプチャに対し、小型で安価な慣性センサ (Inertial Measurement Unit, 以下 IMU) を用いて健常者データを基に変形性膝関節症患者特有の運動学変化を検出するシステムをセンサ・フュージョンや時系列解析法によって構築し、それらを組み合わせることによる簡便な歩行解析の実施とその応用を目的とする。

3. 研究の方法

計測システムの外観及び IMU の装着位置を図 1 に示す。本研究では加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサを搭載した IMU (ZMP 社製, IMU-Z2) を被験者の大腿、下腿へ図 1 のように装着して被験者の歩行計測実験を実施した。実験条件としては 10m の直線区間において IMU を装着した状態で被験者に歩行させ、歩行時の加速度、角速度、地磁気を計測した。

初めに変形性膝関節症の歩行時における運動学的変化を進行度間で評価すべく、膝関節屈曲角度を推定するためのセンサ・フュージョンを構築した。そして健常者と変形性膝関節症患者の歩行計測データについてセンサ・フュージョンを用いて解析し、推定した膝関節屈曲角度を各被験者群で分類し比較を行った。

次に歩行に関するパラメータを半自動的に検出するシステムについて、時系列解析手法の一種である ChangeFinder を用いて構築した。ここでは新たに IMU (ATR-Promotions 社製, TSND151) と足圧センサ (Nitta 社製, FlexiForce) を組み合わせた歩行計測システムを新たに構築し、先の条件と同様に直線区間での歩行計測実験を行い、歩行周期検出の有効性を検証した。

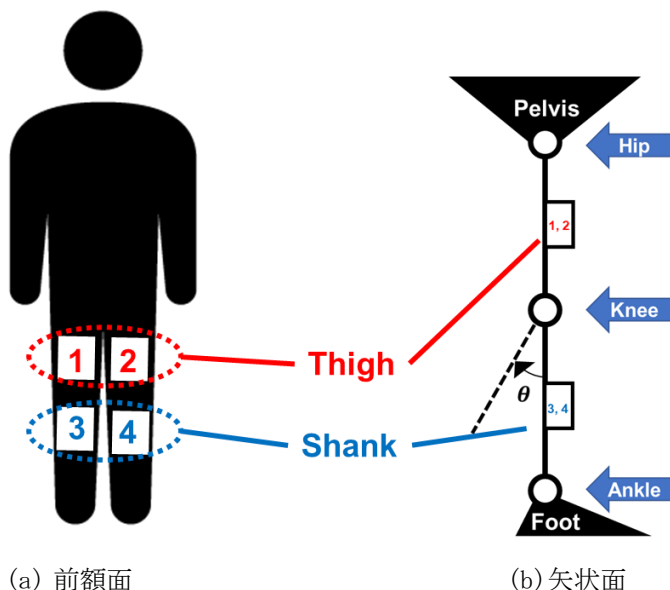
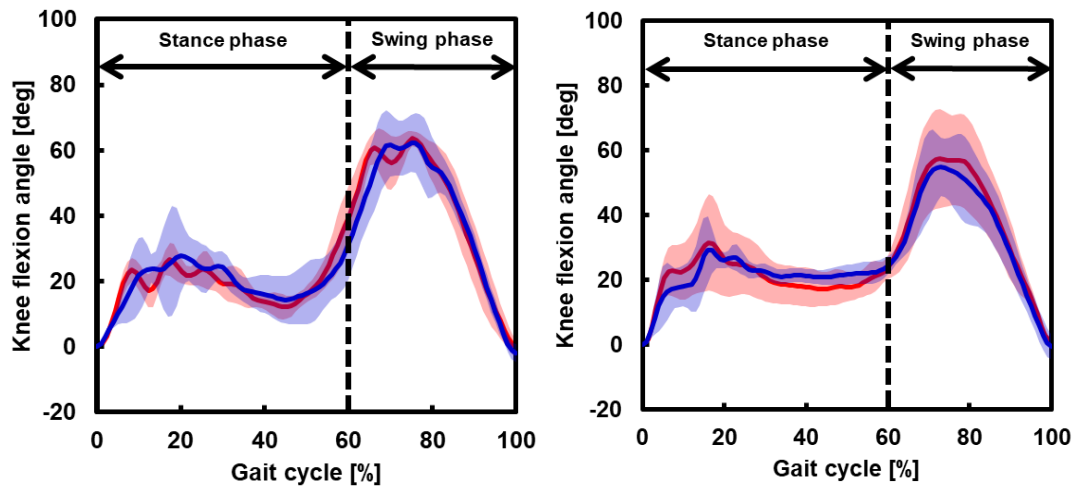


図 1 歩行計測システム及び IMU の装着位置

4. 研究成果

膝関節屈曲角度の推定結果の一例を図2にそれぞれ示す。左図が健常者（変形性膝関節症を患っていない被験者）の両脚の膝関節屈曲角度であり、右図が変形性膝関節症の膝関節屈曲角度である。また各図において横軸60%を1歩行周期における立脚期、遊脚期の境界として破線で示している。結果として各被験者群のいずれにおいても1歩行周期における波形の二峰性がみられた。また二峰性を示している各群の立脚期最大屈曲角度、遊脚期最大屈曲角度の値は変形性膝関節症患者群の方が低値を示す傾向を示し、歩行周期20%から60%区間にかけて波形の平坦化がみられた。これらの傾向は先行研究にて報告されている変形性膝関節症患者の運動学的特徴とおおむね一致しており、IMUとセンサ・フュージョンを組み合わせることで患者特有の運動パターンを定量評価できる可能性が示唆された。

時系列解析手法によって構築した歩行周期検出システムの有効性について、足圧センサ出力から算出した歩行周期波形と時系列解析手法によって歩行時のIMU計測データから検出した歩行周期波形との遅れ時間の分布を算出し、図3に示す。分散傾向にあるものの、遅れ時間は±0.00~0.06secの範囲にあり、IMUデータ単独でフォースプレートや足圧センサを用いない歩行周期検出が可能であることが示唆された。



(a) 健常者群

(b) 変形性膝関節症患者群

図2 1歩行周期に正規化した膝関節屈曲角度の推定結果

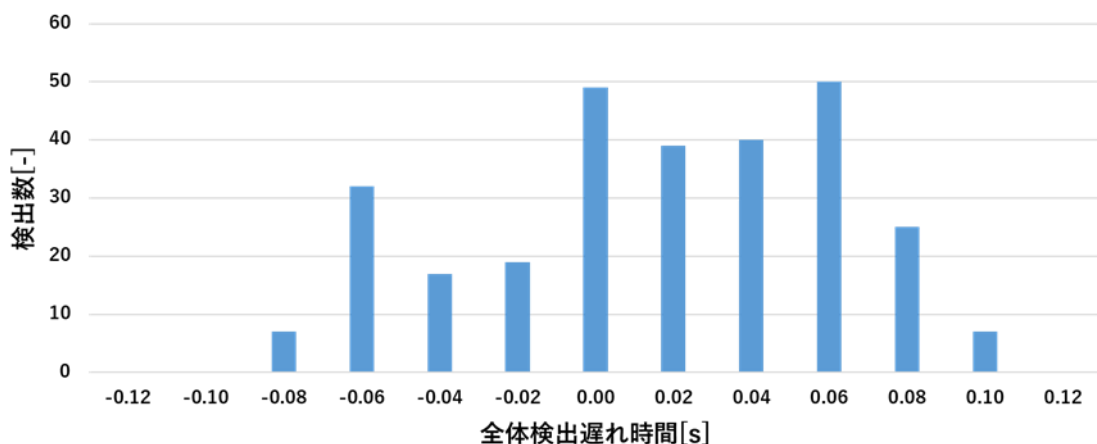


図3 歩行周期検出システムの遅れ時間の分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tsurumiya Kiyoshi, Hayasaka Wataru, Komatsu Akira, Tsukamoto Hiroaki, Suda Tomohiro, Iwami Takehiro, Shimada Yoichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Quantitative Evaluation Related to Disease Progression in Knee Osteoarthritis Patients During Gait	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 51~57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14326/abe.10.51	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tsukamoto Hiroaki, Saito Kimio, Matsunaga Toshiki, Iwami Takehiro, Saito Hidetomo, Kijima Hiroaki, Akagawa Manabu, Komatsu Akira, Miyakoshi Naohisa, Shimada Yoichi	4. 巻 6
2. 論文標題 Diagnostic Accuracy of the Mobile Assessment of Varus Thrust Using Nine-axis Inertial Measurement Units	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 n/a~n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2490/prm.20210009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小松 瞭、鶴宮 聖士、巖見 武裕、塚本 泰朗、須田 智寛、島田 洋一	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of Knee Flexion Angle During Gait in Knee Osteoarthritis Patients Using Inertial Measurement Unit and Sensor Fusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 産業応用工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 64~72
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12792/jjiaae.10.2.64	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Komatsu Akira, Iwami Takehiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Effectiveness of gait cycle detection using unsupervised time series analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (ICIIBMS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICIIBMS55689.2022.9971502	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 塚本泰朗, 齊藤英知, 斉藤公男, 小松瞭, 巖見武裕, 宮腰尚久
2. 発表標題 9軸慣性センサを用いたdouble level osteotomyの歩行解析
3. 学会等名 第49回 日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小松瞭, 巖見武裕, 塚本泰朗, 須田智寛, 島田洋一, 宮腰尚久
2. 発表標題 IMUデータに基づいた変形性膝関節症患者歩行の進行度判別手法の開発
3. 学会等名 第49回 日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
研究協力者	巖見 武裕 (Iwami Takehiro)		

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
---------	---------