

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：33938

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22783

研究課題名（和文）膝関節音の周波数解析を用いた変形性膝関節症重症度分類法の開発

研究課題名（英文）Investigation of classifying conditions of knee osteoarthritis using frequency analysis at the knee joint based on vibroarthrography

研究代表者

太田 進（Ota, Susumu）

星城大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：50452199

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：変形性膝関節症（膝OA）は、膝関節の骨の変形が生じている場合においても症状がないことが多く、その予防のためには、簡便な膝OAのスクリーニング方法を確立することは重要である。我々は膝から生じる音に着目し、膝に変形がある場合、症状がなくても動作時に膝が振動すると考えた。また、その音（振動）が膝への負荷が少ない場合とまた大きい場合で、膝の変形があるほど、振動量の差が大きくなることに着目し膝OAを判別する方法の開発、応用をした。その結果、我々の新しい方法により、膝OAと健常膝の判別が可能であると考えられた。更なる応用は今後であるが、まず方法論の確立と予備的検討まで実施できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

要支援の主な原因と考えられている変形性膝関節症（膝OA）は、中高齢者の罹患率が高く、レントゲン撮影により診断される。しかし、約3分の2は骨の変形があっても症状が出現しない。高齢者の介護予防のためにも、症状が出現していなくても早期に膝OAを簡単にスクリーニングする方法を確立し、予防をすることが重要である。我々は膝OAの初期に生じる関節からの音を新しい視点（音を出さずに動かすことができれば正常に近い）から解析方法を新たに構築した。本法は、簡便であるため実用化しやすく、今後は人間ドックのオプションや運動療法の治療判定などにも応用ができ、膝OAの予防、強いては介護予防へと結びつけることが可能である。

研究成果の概要（英文）：Knee osteoarthritis (knee OA) often causes no symptoms even in cases of bony deformity of the knee joint, and it is important to establish a simple screening method for knee OA in order to prevent it. We focused on the sound generated by the knee and developed and applied a method to identify knee OA based on the difference between low and high knee load. As a result, we believe that our new method can discriminate between knee OA and healthy knees. Although further application of this method is still in the future, we were able to establish the methodology and conduct a preliminary study.

研究分野：運動器理学療法

キーワード：変形性膝関節症 関節音 振動 早期発見 高速フーリエ変換 機械学習 スクワット トータルパワ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地域高齢者の初期の運動機能低下に最も影響を与える疾患に膝 OA (変形性膝関節症) があり、40 歳以上の有病率は男性 43%、女性 62% と高い。膝 OA の診断基準は、レントゲン撮影による大腿骨と脛骨の距離などにより分類される KL 法 (Kellgren Lawrence method) が用いられ、0-4 の 5 段階があり、数字が大きいほど重症で 2 以上を膝 OA と診断する。しかし、KL2 以上の膝 OA であっても痛み の出現率は 1/3 であり、2/3 は骨の変形が進んでいても自覚しておらず、症状が出現した時には重症化していることも多い。そのため、症状のない段階で簡易に膝 OA の判別 (本研究では KL2 以上) をすることは、予防のために必要であり、そのため我々は平成 28-30 年度まで基盤研究 (B) にて、まず健常と KL3、4 の末期 OA の判別を行った。その計測方法の確立と正常膝と末期膝 OA の判別は可能となったが、膝 OA とされる KL2 を含めて重症度分類には至らなかった。その最も大きな原因は、関節音の代表値として用いる数値の再現性が低いことである。この問題点を解決できれば関節音の解析による研究は大きく進むと予想している。現在まで、国際的にも関節音の振動解析の研究はあるが、再現性の報告はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、膝関節動作時に膝から生じる振動 (関節音) 特性により変形性膝関節症 (膝 OA) の重症度を分類する方法を確立することである。研究は、研究 1) 振動解析において、再現性の高い方法を確立する、研究 2) その方法を用いて膝 OA の骨の変形を表す重症度分類方法を開発する。また、軟部組織の影響を踏まえ性差を検証する。研究 3) 膝 OA 重症度分類に既存データも含めニューラルネットワーク解析の実用性の有無を調査検討する。

3. 研究の方法

研究 1) 臨床現場での使用がスムーズで再現性の高い関節音解析方法の検証として、無線による解析および膝関節角度を計測する加速度計 (小型無線多機能センサ: TSND151 ATR promotions) を用いた。また、有線による計測も同時に検討した。また、高齢者も実施できる再現性のある動作を検証した。



図 1. 関節音計測方法

研究 2) 研究 1 の方法を用いて、健常成人および膝 OA 症例の比較の予備的検討を行った。新型コロナウイルスの影響で、高齢者の計測に制限が生じた。新規の方法として、音の大きさやその周波数に着目するのではなく、どのくらい振動を立てずに関節を動かすことができるか、また同一人物が膝関節への負荷を変化させることでその振動が変化するか、つまり健常の場合 10 回中振動量 (高速フーリエ変換後のトータルパワー: 100-1000Hz) が最小の 2 回では振動量がかかなり少ないが、膝 OA では、振動が最小の試行でも一定以上の振動量が生じると考えた。以上の方法を用いて、10 回のスクワットおよび片脚スクワット (段差昇降) を実施し、それぞれ、最小トータルパワー 2 回の平均値を算出しその差を代表値とした (図 2)。仮説として、膝 OA ではその差が大きくなり、健常ではその差が小さいと予想した。健常成人 16 名、膝 OA (重症度 KL 分類 3) 3 名を対象とした。

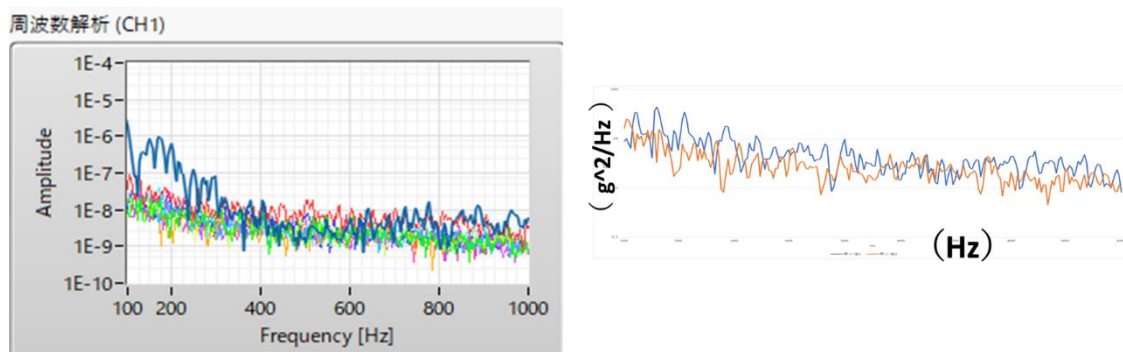


図 2. 高速フーリエ変換後の 10 回の波形データとトータルパワーが少ない 2 回の抽出

研究 3) 高感度圧電振動センサと独自の信号増幅フィルター回路を組み合わせた診断システムを開発し、関節症診断のための微弱な軟部組織摩擦音を収集・解析した。

4. 研究成果

研究1) 無線加速度計による計測では4 KHzのサンプルサイズが困難であったため、結果として有線を使用した。また、脛骨部に装着する際に、腓腹筋や前脛骨筋の影響による加速度計の変位も考えられたため、さらに小型の有線加速度計を使用した。膝関節角度は、ATR社製の加速度計を大腿部、下腿部に用い計測し、関節音用の加速度計と同期できるソフト(試作)を開発した。

動作に関しては、両手を前に出した位置で体幹と壁が同じ位置で移動できるようにコントロールしたスクワットと部屋の角を用いて前と横に手をつけて片脚スクワットを行い体幹と壁の距離が変更しない方法を用いた。膝関節屈曲角度は、我々の先行研究に準じて60度屈曲位から伸展方向に膝を伸ばし、45度から0度までを計測範囲とした。

研究2) 健常成人の性差に関して、図3のスクワット時および片脚段差昇降時において、性差はなかった。今回用いた最小振動解析法においても、膝OA1は健常平均より少ない振動量を示した。片脚段差昇降においては、膝OA症例3名で振動量は健常平均より大きかった。そのため、膝関節への負荷量を増やすことで、本振動最小法で膝OAの判別が可能であると考えられた。また、今回、片脚段差昇降と両足スクワットの振動量の差を検証する方法を新規に行った(図4)。膝OAの対象者が女性のみであったので、健常成人も女性として比較を行った。片脚段差昇降(片足スクワット)と両足スクワットのトータルパワーの差の減算(図4左図)および除算(図4右図)を行った。それぞれ膝OAで健常膝における片脚段差昇降と両足スクワットの差よりも大きな差が認められた。本研究はまだ予備的検討に留まったが、今後、本振動最小法で膝OA鑑別が簡便に行える可能性が示唆された。

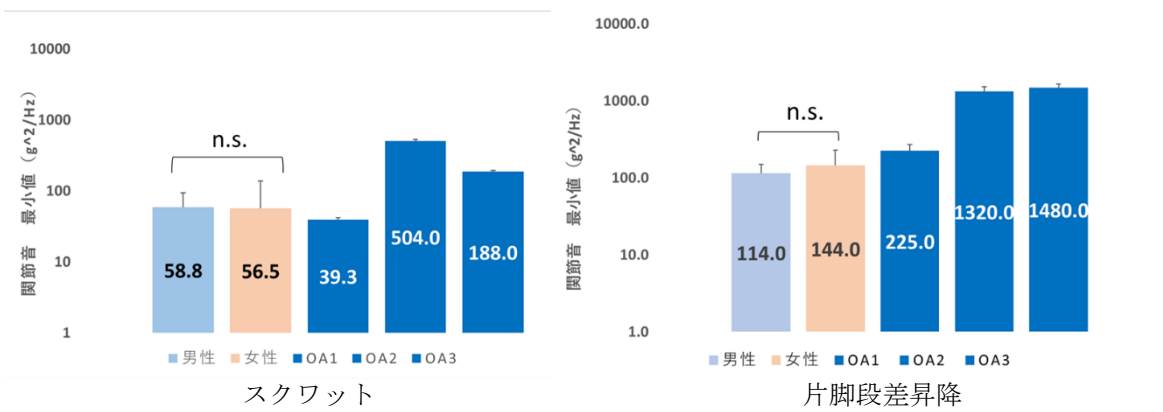


図3. スクワットおよび片脚段差昇降時の関節音比較 (数値 10^{-9})

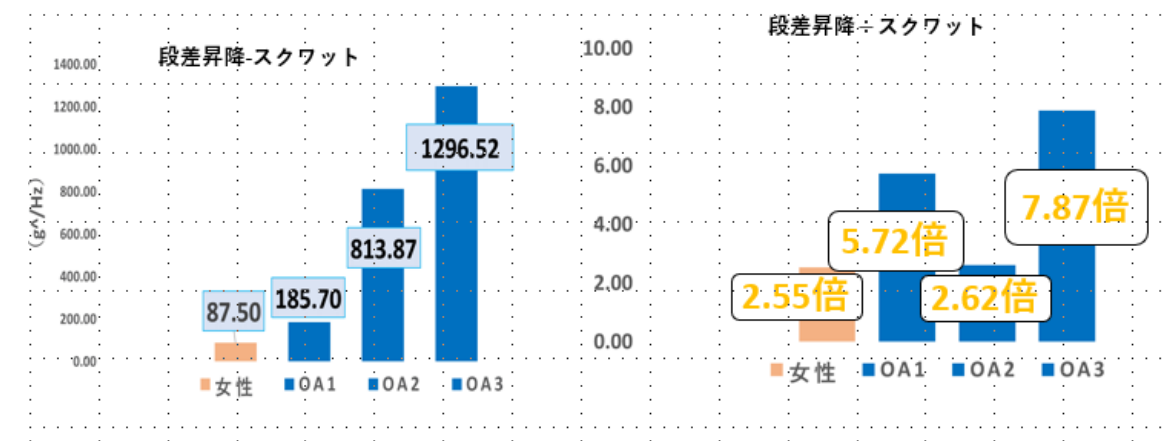


図4. 健常女性および変形性膝関節症症例(女性)3名の片脚段差昇降と両足スクワットの振動量(最小量2回の平均)の差. 左図は減算, 右図は除算

研究3) 本研究では、アントコロニーアルゴリズムを基にしたスワームインテリジェンスを活用し、信号フィルタリングパラメータのリアルタイム最適化を図ることで、ノイズ除去を行い、より精度の高い生体信号の取得を目指した。具体的には、最もノイズ汚染が深刻とされる関節音信号に対して実験を行い、そのノイズ除去効果を大幅に向上させることができた。本研究で開発したアルゴリズムの利用により、広範囲の生体信号のフィルタリングが可能と考えられる。

<引用文献>

- ① Yoshimura N, Muraki S, et al.. Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab.* 2009; 27(5):620-628.
- ② Gong R, Hase K, Goto H, Yoshioka K, Ota S. Knee osteoarthritis detection based on the combination of empirical mode decomposition and wavelet analysis. *Jpn Mech Eng J.* 2020; 15(3): 20-00017. doi.org/10.1299/jbse.20-00017.
- ③ Gong R, Hase K, Ota S, Ohtsu H. Vibroarthrographic signals for the low-cost and computationally efficient classification of aging and healthy knees. *Biomed Signal Process Control.* 2021; 70: 103003
- ④ Gong R, Hase K, Ohtsu H, Ota S, Adaptive vibroarthrographic signal denoising via ant colony optimization using dynamic denoising filter parameters. *Int J Eng Technol. Innov,* 2022;12(1):1-15.
- ⑤ Gong R, Hase K, Wang S, Ota S. A Novel Attempt for Diagnosing Outerbridge Classification of Articular Cartilage Damage via Vibration Transmission. *J. Biomech. Sci. Eng.* 2022;17(3).21-00319.

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 2件）

1. 著者名 Gong R, Hase K, Ota S, Ohtsu H	4. 巻 70
2. 論文標題 Vibroarthrographic signals for the low-cost and computationally efficient classification of aging and healthy knees.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomed Signal Process Control.	6. 最初と最後の頁 103003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bspc.2021.103003	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 Gong R, Hase K, Ohtsu H, Ota S	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Adaptive vibroarthrographic signal denoising via ant colony optimization using dynamic denoising filter parameters.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Int J Eng Technol. Innov.	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.46604/ijeti.2021.8718	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 Gong R, Hase K, Wang S, Ota S.	4. 巻 21-00319
2. 論文標題 A Novel Attempt for Diagnosing Outerbridge Classification of Articular Cartilage Damage via Vibration Transmission.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Biomech. Sci. Eng.	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jbse.21-00319	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 Gong R, Hase K, Goto H, Yoshioka K, Ota S.	4. 巻 15
2. 論文標題 Knee osteoarthritis detection based on the combination of empirical mode decomposition and wavelet analysis.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn Mech Eng J.	6. 最初と最後の頁 20-00017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jbse.20-00017	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 赤羽 航平, 太田 進, 蔭山 健介, 坂井 建宣
2. 発表標題 初期変形性膝関節症を模擬したブタ軟骨の変性が粘弾性特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本実験力
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gong R, Hase K, Goto H, Ota S
2. 発表標題 Classification of Knee-Joint Vibroarthrographic Signals via Continuous Wavelet Transform and Kernel Support Vector Machine.
3. 学会等名 AP Biomech
4. 発表年 2019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
研究分担者	坂井 建宣 (Tatenobu Sakai) (10516222)	埼玉大学・理工学研究科・教授 (12401)	
研究分担者	長谷 和徳 (Kazunori Hase) (10357775)	東京都立大学・システムデザイン研究科・教授 (22604)	

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