

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17671

研究課題名（和文）変形性膝関節症進行抑制に向けた膝関節急速内反運動改善に対する介入研究

研究課題名（英文）Functional Electrostimulation Therapy for Vastus Medialis Decreases Varus Thrust During Gait

研究代表者

島田 昇（SHIMADA, NOBORU）

広島大学・病院（医）・理学療法士

研究者番号：20467773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、歩行中VMの活動開始の修正が、メカニカルストレスを減少することを明らかにした最初の研究である。内側型膝OA患者に対するFESを使用した歩行練習はVMの活動開始を早期化し、varus thrustを減少させた。一方で、膝関節へのメカニカルストレスの代表的指標である内反モーメントも大きくなった。FESを使用した歩行練習が膝OAの予防的治療になるかを明確にするには長期的フォローアップが必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、機能的電気刺激装置を併用した歩行練習を膝OA患者に用いることで歩行中VMの活動タイミングが改善し、急速内反運動が抑制され、膝OAの発症および進行を抑制できることが証明されることで、潜在的膝OA者約3,000万人にとっての予防的治療となる。膝OA患者の予防的治療の確立は、患者の健康寿命延伸、生活の質を向上させることが期待され、それに伴って、将来的な労働人口の増加と医療費、および社会保障費の削減効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study is the first to demonstrate that the modification of activity initiation in the VM during gait reduces mechanical stress. Gait training using FES accelerates VM onset time and suppresses the varus thrust in patient with knee OA, although the KAM also increases. Therefore, long-term follow-up is required to clarify whether gait training using FES will be a preventive treatment for knee OA.

研究分野：biomechanics

キーワード：変形性膝関節症 varus thrust 機能的電気刺激 内側広筋

1. 研究開始当初の背景

日本国内における潜在的変形性膝関節症(膝OA)者は約3,000万人、症状を有する患者は1,000万人と推計されており¹⁾、厚生労働省の統計によると変形性関節症は介護保険制度における要支援の要因第1位(19.4%)である²⁾。膝OAに対する保存療法は、National Health Serviceが管轄するNational Institute for Health and Clinical Excellence(NICE)ガイドラインにて、減量、筋力強化、教育、有酸素運動が第一選択とされている³⁾。700名を対象とした縦断研究などにおいて、varus thrust(歩行立脚初期における急激な膝関節の内反運動。以下、膝関節急速内反運動)は、膝OAの発症や進行に影響を与えることが知られていることから^{4,5,6)}、膝関節の急速内反運動は治療ターゲットになる可能性を有している。しかし、上述した治療第一選択と急速内反運動との関係はこれまで明らかになっていない。

急速内反運動の要因には、膝関節動揺性、膝関節内反アライメントなどが挙げられ^{4,7)}、その中で患者自身がコントロール可能な要因として内側広筋(VM)の歩行時活動タイミング遅延⁸⁾がある。内側広筋は膝関節伸展運動と膝蓋骨を内側に牽引することで膝関節を安定させる機能を持つ⁹⁾。健常人の歩行中立脚初期の膝関節屈曲角度が約5°¹⁰⁾であるのに対し、膝OA患者は約20°である¹¹⁾。この屈曲角度は内・外側側副靭帯が弛緩し膝関節が内・外反方向に動揺する角度である¹²⁾。歩行中内側広筋の活動遅延は、膝関節が内・外反動揺する角度での踵接地をもたらす、膝関節の動揺を招いていると推察される。さらに、急速内反運動を認めない者は歩行中踵接地前からVMが活動しているのに対し、急速な内反運動を認める者は踵接地後からVMが活動し、VMの歩行時活動タイミングが遅延している。つまり膝OA患者は歩行中におけるVMの学習性不用状態になっている。機能的電気刺激(FES)は主に中枢神経疾患患者に使用されることが多く、大脳皮質の賦活化や脱抑制神経に対する相反抑制効果に加え、学習性不用状態の筋に対する機能改善効果が認められている^{13,14)}ことから、FESにより学習性不用状態のVMの活動タイミングを踵接地前に修正することで急速内反運動を抑制できる可能性がある。

FESの安全性について、膝OAを対象にFESを使用した報告はないが、脳卒中片麻痺患者を対象に7施設、100名以上にFESを使用したところ、有害事象は発生しなかったと報告されている¹⁵⁾。

本研究により、FESを膝OA患者に用いることで歩行中VMの活動タイミングを改善し、急速内反運動が抑制され、膝OAの進行を抑制できることが証明されれば、高齢者の歩行教室対象者などを含めた潜在的膝OA者約3,000万人に利益をもたらす可能性がある。

2. 研究の目的

膝OA患者に対するVM活動タイミング改善を目的にFESを用いた歩行時筋活動再教育訓練の効果を探索的に検討する非盲検単独介入前後比較試験を実施する。

3. 研究の方法

3-1. 対象

当院整形外科にて膝OA患者 Kellgren-Lawrence (以下、K-L) grade - と診断され、長谷川式簡易認知機能評価スケール(以下、HDS-R)21点以上の認知機能を有する患者10名。

除外基準を、他関節に疾患または症状を有する患者、10m以上の連続歩行に影響を与える神経筋疾患や内科系疾患を有する患者、その他、研究責任医師または研究分担医師が本研究を実施す

るのに不相当と認めた患者、心臓ペースメーカー等の体内植えこみ型医用電気機器や金属インプラントを使用している患者、およびてんかんの既往歴または疑いのある患者とし、該当者は除外した。

3-2. 介入方法

FES 装着下での歩行時筋活動再教育訓練を行う。対象者の内側広筋に電極を貼付し、歩行周期100%中の踵接地前10%から踵接地後10%までの間、VMが遠心性収縮可能なレベルの外部刺激を加える。1歩行周期毎に外部刺激を入力する条件で、20分間歩行練習を行う。この時、対象者には電気刺激に合わせた音でのフィードバックにて筋活動タイミングの意識付けを強化し、FES非装着下でも同様の筋活動を再現できるように練習する。

3-3. 測定方法

3-3-1. 膝関節急速内反運動と膝関節伸展角度

歩行中の運動学及び運動力学データは、赤外線カメラ16台を用いた三次元動作解析装置VICONMX (Vicon Motion Systems社、UK)を使用し、サンプリング周波数200Hzにて計測した。赤外線マーカーはPlug-In-Gaitモデルに即し全身の35点に貼付した。床反力は床反力計 (AMTI社、USA)8基を用いてサンプリング周波数1000Hzにて測定した。得られたデータより varus thrustとして荷重応答期における最大膝関節内反角から最小膝関節内反角を減じた値と、膝関節伸展角度、膝関節内反モーメントを算出した。なお、踵接地は床反力鉛直成分が20N以上発生した時点とした。

3-3-2. VM活動開始時間

筋活動様式の計測には、無線表面筋電計 Trigno wireless system (Delsys Inc. Boston, MA) を使用しサンプリング周波数1000Hzにて測定した。被験筋はVMとし、SEINAMの方法に従い、皮膚の標準的処理後、電極を筋腹上に縦方向に配置した¹⁴⁾。記録されたEMG生波形は、全波整流し、100msの二乗平均平方根(Root mean square: RMS)を求めたのち、VMのMMTによる最大筋活動を100%として正規化した。安静座位100msでの平均筋活動を基線とし、time0から基線より2SDを超えた時点筋活動を筋活動開始時点とし、床反力計から得られた踵接地点に対するVM活動開始時間を算出した。

3-3-3. 測定課題

測定課題は歩行速度を規定しない10mの自由歩行とし、介入前中後で測定した。それぞれのパラメータについて3施行の中央値を採用し、各課題間で比較検討した。

4. 研究成果(Figure 1.)

varus thrustは介入前 $2.7 \pm 1.1^\circ$ 、介入後 $2.2 \pm 1.3^\circ$ で有意差を認めた($p < 0.05$)。

内側広筋活動開始時間は介入前踵接地の -0.06 ± 0.09 秒、介入後 $-0.21 \pm .1$ 秒で有意差を認めた($p < 0.05$)。

膝関節伸展角度は介入前 $8.7 \pm 5.1^\circ$ 、介入後 $5.5 \pm 5.9^\circ$ で有意差を認めた($p < 0.05$)。

膝関節内反モーメントは介入前 $0.50 \pm 0.20^\circ$ 、介入後 $0.56 \pm 0.18^\circ$ で有意差を認めた($p < 0.05$)。

上記研究結果のように本研究、歩行中VMの活動開始の修正が、メカニカルストレスを減少することを明らかにした最初の研究である。我々の結果は、VMの活動開始のタイミングが約0.15秒早くなることで、varus thrustの 0.5° の減少と膝関節伸展角度を約 3° 伸展することを示した。VMが踵接地に先行して活動開始することで、踵接地時の膝関節伸展角度が 5° に改善し、構

造的安定性が得られ、varus thrust が減少したものと考えられる。一方で、本研究結果では膝関節へのメカニカルストレスの代表的指標である内反モーメントは有意に大きくなった。KAM は膝関節へのメカニカルストレスの指標や疼痛など臨床上的との関連が知られている^{16,17,18)}。また、varus thrust は関節負荷や臨床症状に加え、膝 OA の進行のリスク因子でもある。

今回の結果が将来の膝 OA の進行にどのように影響を与えるかについてはさらなる縦断的研究が必要である。

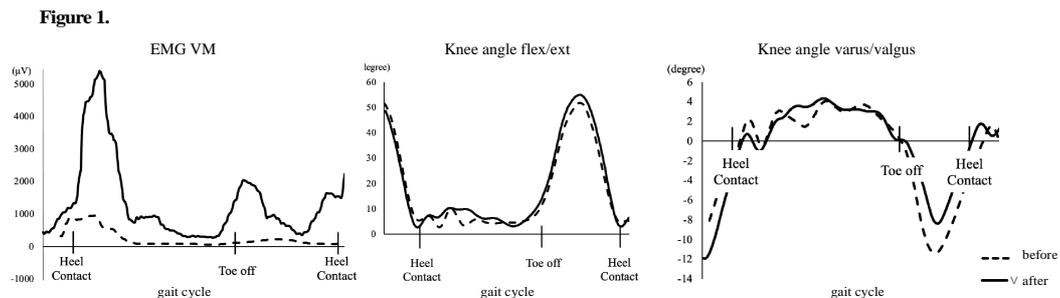


Figure 1. EMG wave form of VM and knee angle(sagittal and frontal plane) before and after the intervention.

< 参考文献 >

- [1] Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Mabuchi A, En-Yo Y, Yoshida M, 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):620-8.
- [2] National Institute for Health and Clinical Excellence. Osteoarthritis in over 16s: diagnosis and management. National Institute for Health and Care Excellence 2022.
- [3] Chang A, Hayes K, Dunlop D, Hurwitz D, Song J, Cahue S, et al. Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2004;50(12):3897-903.
- [4] Omori G, Narumi K, Nishino K, Nawata A, Watanabe H, Tanaka M, et al. Association of mechanical factors with medial knee osteoarthritis: A cross-sectional study from Matsudai Knee Osteoarthritis Survey. *J Orthop Sci.* 2016;21(4):463-8.
- [5] Sharma L, Chang AH, Jackson RD, Nevitt M, Moision KC, Hochberg M, et al. Varus Thrust and Incident and Progressive Knee Osteoarthritis. *Arthritis Rheumatol.* 2017;69(11):2136-43.
- [6] Hamai S, Okazaki K, Ikebe S, Murakami K, Higaki H, Nakahara H, et al. In Vivo Kinematics of Healthy and Osteoarthritic Knees During Stepping Using Density-Based Image-Matching Techniques. *J Appl Biomech.* 2016;32(6):586-92.
- [7] Tomohiko N, Hayato E, Satoshi N. Relationship between Lateral Thrust and Electromyography of the Vastus Medialis and Vastus Lateralis of Patients with Knee Osteoarthritis. *J. Phys. Ther. Sci.* 2009;24(4):517-21.
- [8] Doucette SA, Goble EM. The effect of exercise on patellar tracking in lateral patellar compression syndrome. *Am J Sports Med.* 1992;20(4):434-40.

- [9] Boguszewski DV, Cheung EC, Joshi NB, Markolf KL, McAllister DR. Male-Female Differences in Knee Laxity and Stiffness: A Cadaveric Study. *Am J Sports Med.* 2015;43(12):2982-7.
- [10] Bytyqi D, Shabani B, Lustig S, Cheze L, Karahoda Gjurgjeala N, Neyret P, et al. Gait knee kinematic alterations in medial osteoarthritis: three dimensional assessment. *Int Orthop.* 2014;38(6):1191-8.
- [11] Levy CE, Nichols DS, Schmalbrock PM, Keller P, Chakeres DW. Functional MRI evidence of cortical reorganization in upper-limb stroke hemiplegia treated with constraint-induced movement therapy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001;80(1):4-12.
- [12] Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesio.* 2000;10(5):361-74.
- [13] Klopsteg PE, Wilson PD. *Human Limbs and Their Substitutes.* McGraw-Hill Book Company, Inc., New York; 1954, p.463-7.
- [14] DeVita P, Aaboe J, Bartholdy C, Leonardis JM, Bliddal H, Henriksen M. Quadriceps-strengthening exercise and quadriceps and knee biomechanics during walking in knee osteoarthritis: A two-centre randomized controlled trial. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2018;59:199-206.
- [15] Hunt MA, Birmingham TB, Giffin JR, Jenkyn TR. Associations among knee adduction moment, frontal plane ground reaction force, and lever arm during walking in patients with knee osteoarthritis. *J Biomech.* 2006;39(12):2213-20.
- [16] Chang AH, Moision KC, Chmiel JS, Eckstein F, Guermazi A, Prasad PV, et al. External knee adduction and flexion moments during gait and medial tibiofemoral disease progression in knee osteoarthritis. *Osteoarthr. Cartil.* 2015;23(7):1099-106.
- [17] Wink AE, Gross KD, Brown CA, Guermazi A, Roemer F, Niu J, et al. Varus thrust during walking and the risk of incident and worsening medial tibiofemoral MRI lesions: the Multicenter Osteoarthritis Study. *Osteoarthr. Cartil.* 2017;25(6):839-45.
- [18] McGinley JL, Baker R, Wolfe R, Morris ME. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: a systematic review. *Gait Posture.* 2009;29(3):360-9.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島田昇
2. 発表標題 踵接地前の内側広筋の賦活化はvarus thrustを抑制する
3. 学会等名 JOSKAS/JOSSM meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田昇
2. 発表標題 内側広筋に対する機能的電気刺激治療はvarus thrustを抑制するか？
3. 学会等名 第9回運動器理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田 昇
2. 発表標題 内側広筋に対する機能的電気刺激はvarus thrustを抑制するか？
3. 学会等名 第34回中国ブロック理学療法士学会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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