

令和 2 年 7 月 11 日現在

機関番号：43949

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13108

研究課題名(和文)短縮筋の同定およびストレッチングが可能な足部リハビリテーション機器の開発

研究課題名(英文)Development of foot rehabilitation device that can identify and stretch the shortening muscles

研究代表者

山田 南欧美(Yamada, Naomi)

愛知医療学院短期大学・理学療法学専攻・助教

研究者番号：40779071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：私は、三次元的な自由度を有する足部を適切にストレッチングできる自動機械の開発を目指している。足部を三次元制動するため、ワイヤー駆動の機器を想定していたが、開発が容易である一自由度のストレッチング機器も試作したところ、十分に足部ストレッチングを施行できた。また、この一自由度ストレッチング機器で足部背屈ストレッチングを行ったところ、健常若年者および健常高齢者の足部関節可動域は有意に改善した。超音波画像診断装置を用いたことで、ストレッチングの効果を生体力学的に示すこともできた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三次元的足部変形に關する短縮筋の同定のため、複雑な動きを有する機器が必要と考えていたが、本研究での実験により、一自由度のストレッチング機器でも十分に効果の高い足部ストレッチングを行えることが示された。このことは、より安価で操作が容易なストレッチング機器を開発することの一助となる。在宅リハビリテーションの必要性が高まっている現在、本機器を市場投入することができれば、誰もが在宅で継続的に効果の高い足部ストレッチングを実施することが可能になり、生活の質の向上につながるができる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to develop an automatic stretching device for the foots which have three-dimensional freedom. Although a wire-driven device had been supposed at the beginning for the three-dimensional control of the foot, a one-degree-of-freedom (1-DOF) stretching device was produced experimentally which was driven by a pneumatic actuator. This device performed a foot static stretching sufficiently. By performing foot dorsiflexion stretching using this 1-DOF stretching device, the range of motion of the ankle joint of healthy young people and the elderly increased significantly. By using the ultrasonic diagnostic imaging system to measure the stretched muscle, the effect of static stretching by this device was shown biomechanically.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：リハビリテーション機器 ストレッチング 機器開発 足部

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

脳卒中の後遺症である内反尖足に対する治療として、足部変形の原因となる痙性筋の緊張を緩和するストレッチングが主に行われる。内反尖足には複数の痙性筋が関与し、障害の程度によって各筋の痙性の程度は異なるため、患者ごとの症状に合わせた適切なストレッチングが求められる。例えば、尖足症状が強い症例では、下腿三頭筋の緊張が亢進（短縮）している。一方、内反症状が強い症例では、後脛骨筋が短縮している。そのため臨床では、理学療法士が徒手で痙性筋をストレッチングし、その際の抵抗を感じながらどの筋が短縮しているかを評価し、適切な方向へ足部をストレッチングする。

発症後3か月以上経過した脳卒中患者における痙性の罹患率は40%以上であるとの報告があり、痙性筋に対するストレッチングは継続的に行う必要がある。しかし、我が国において、退院後の保険適用範囲での理学療法を受ける機会は限られており、在宅で十分な量のストレッチングを受けることができない。そこで、患者自身が在宅で機器を用いてストレッチングを行う必要がある。しかし、ストレッチングは最大可動域にてさらに力を加えて対象部位を押し込む必要があり、安全性の確保が難しいことから、未だ市販されているストレッチング機器はない。

これまで私は、脳卒中後遺症者に対する理学療法士のストレッチング手技を調査・分析した。そして、足部姿勢の変化、および足部に加わる力、モーメントについての計測結果から、理学療法士による徒手ストレッチングでは、背屈運動を主に行うとともに、外転方向への力やモーメントが加えられていることを明らかにした。これより、内反尖足を対象としたストレッチング機器は、三次元的に制動する機構を有している方が効果が高いと確信した。この着想のもと、足部の三次元制動が可能な機構の考案に着手している（図1）。足底板の内外側に配置した2本のワイヤーで足底板を駆動する機構を有しており、駆動源には空気圧アクチュエータを使用した。2本のワイヤーを同時に引くと足部を背屈し、外側のワイヤーを独立して引くと足部を外転・外がえしすることができる。この受動的な運動自由度が高い機構と剛性の小さいアクチュエータの採用により、人体への負担を軽減し、かつ本質安全設計に成功した。この機構をベースに、内反尖足のための三次元的なストレッチングを行う足部リハビリテーション機器を開発することができる。

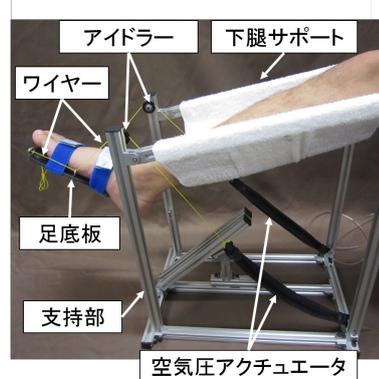


図1. ストレッチング機器試作機

2. 研究の目的

理学療法士が行っているように、どの筋が短縮しているかを判断し、かつその筋を狙って適切な力でストレッチングすることが可能な機器が存在すれば、内反尖足に対して安全かつ効果が高いストレッチングを行うことが可能になる。よって私は、現在試作中のストレッチング機器をベースに、短縮筋の同定および同定された筋を狙ったストレッチングが可能な足部リハビリテーション機器を開発することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

前述したワイヤー駆動のストレッチング機器試作機を、より十分な足部背屈ストレッチングが行えるよう、改良した（図2）。リハビリテーション機器の運動制御には減速機構を有する電磁モーターが使用されることが多い。一方、試作機はワイヤーの制御に空気圧アクチュエータを使用する。2本のワイヤーにそれぞれマッキベン型アクチュエータを接続し、アクチュエータに加わる空気圧を変化させることで、ワイヤーを引く力を調整することで、三次元制動を達成した。また、内反尖足は症状の程度によって足部の変形量が異なる。よって、ワイヤーのコントロールだけでは補えない個人差に対応するため、柔軟な足底板を用いた。そして、このストレッチング機器を用い、健常若年者に対し、ストレッチング効果が得られるかどうか、調査した。実験では、1分間のスタティックストレッチングを3回実施した。ストレッチング中の足部の動きを確認するため、電子ゴニオメータで足部の3次元の動きを測定した。評価指標として、足部 Stiffness と最大随意収縮筋力をストレッチング前後に測定した。

上記実験と並行しながら、制御が容易である一自由度の足部底背屈運動器 (Relegs, (株)エルエーピー社製) を改良して、試験的に足部ストレッチング機器を作製した（図3）。一自由度のストレッチング機器でも十分に足部ストレッチングが行え、その効果を示すことができれば、より早期に有用なストレッチング機器を開発することが可能になる。本研究では、改良した Relegs を用いて、健常高齢者に対するストレッ



図2: 三次元足部背屈持続伸張システム

チング効果を検証した。

対象者は、右足に改良型 Relegs による足部背屈スタティックストレッチングを 2 分×5 回の計 10 分間実施し、ストレッチング前後に評価測定を実施した。評価項目は、①足関節背屈可動域（他動）、②足関節底屈筋力、③足部 Stiffness、④腓腹筋内側頭筋腱移行部の移動量とした。①はゴニオメータを使用して手動にて計測した。②は固定した徒手筋力計を用いて計測した。③足部 Stiffness は他動的に足部を背屈した際の押し込み力を徒手筋力計を用いて計測し、算出した。④腓腹筋内側頭筋腱移行部の移動量は、超音波画像診断装置を用いて計測した。



図 3: 一自由度足部背屈持続伸張システム

4. 研究成果

(1) ワイヤー駆動足部三次元制動ストレッチング機器の効果検証結果

実験の結果、本機器を用いて、外転・外反を伴いながら背屈できることが確認された。ストレッチング前後の stiffness はやや増加した（図 4）。一方で、筋力は低下する傾向がみられた（図 5）。stiffness に関しては、計測方法が適切でなかった可能性があるため、確かな結果が得られなかった。一方、底屈筋力については、先行研究と同様の傾向が得られており、ストレッチングの効果が示された。

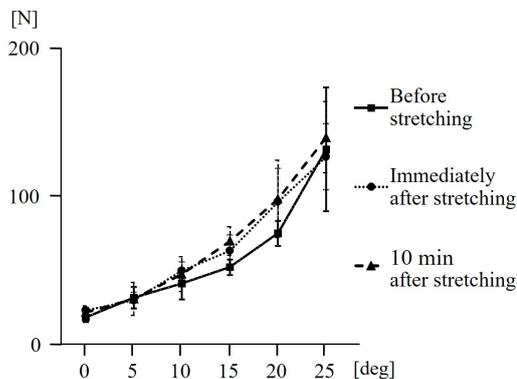


図 4 足部 Stiffness の結果

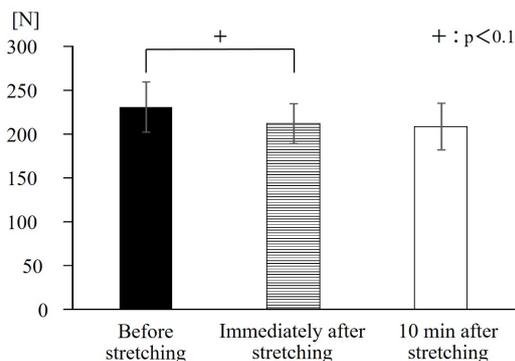


図 5 最大底屈随意収縮筋力の結果

(2) 改良型 Relegs の効果検証結果

改良型 Relegs による足部背屈ストレッチングによって、有意に足部背屈角度は拡大し（図 6）、足関節底屈筋力も低下する傾向にあった（図 7）。足部 Stiffness は全体的には有意に低下した（図 8）が、個人によっては、増大する者もいた。また、腓腹筋内側頭筋腱移行部の移動量は全体的に有意に低下し（図 9）、本機器によるストレッチングで筋よりも腱の方が伸張される可能性が示された。

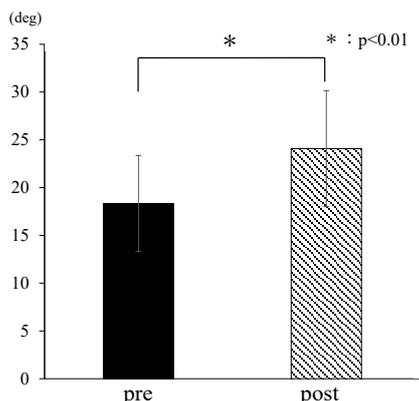


図 6 足関節他動背屈可動域の結果

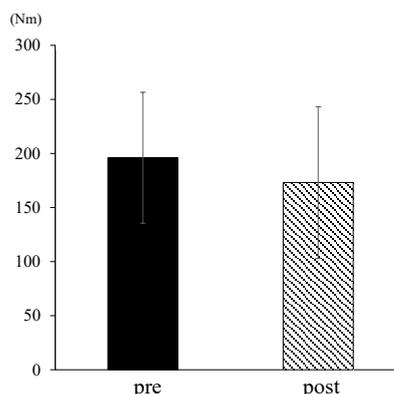


図 7 最大底屈随意収縮筋力の結果

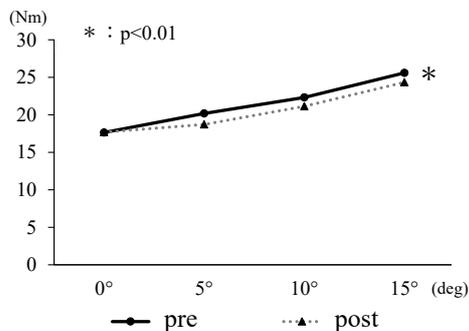


図8 足部 Stiffness の結果

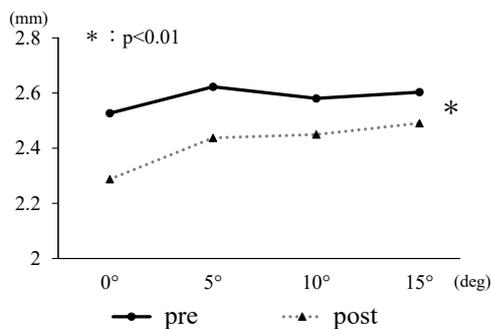


図9 腓腹筋内側頭筋腱移行部の移動量の結果

(3) 今後に期待される成果

本研究では、短縮筋を同定し、その筋を狙った筋を伸張することのできる足部ストレッチング機器の開発を目的としていた。研究当初は、三次元制動を有する機器での開発を考えていたが、機器の改良・制御が容易である一自由度のストレッチング機器でも、効果的なストレッチングが行える可能性を見出したため、より早期に有効なストレッチング機器開発を達成することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① [Naomi Yamada](#), Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama and Yoji Yamada. “Principal motion analysis of manual stretching techniques for the ankle joints”, Journal of Physical Therapy science, vol.32 no. 9, 2020. 査読有. (2020年9月掲載予定)
- ② Yuma Shiraishi, Shogo Okamoto, [Naomi Yamada](#), Koki Inoue, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada. “Pneumatically-driven stretching machine for ankle dorsiflexion: Safety concepts and effectiveness test involving healthy young subjects”, Robomech Journal, vol. 7, article 10, 2020. 査読有.

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① Yuma Shiraishi, Shogo Okamoto, [Naomi Yamada](#), Koki Inoue, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada, “The effect of the relative rotation axis position of the stretching machine and ankle”, Proceedings of ICORS 19th International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 403-407, 2019. 査読有.
- ② Yuma Shiraishi, Shogo Okamoto, [Naomi Yamada](#), Koki Inoue, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada, “Pneumatic-driven ankle stretching machine”, Proceedings of IEEE Global Conference on Life Sciences and Technologies, pp. 10-11, 2019. 査読有.
- ③ 山田南欧美, 橋本千里, 後藤華奈, 白石雄馬, 秋山靖博, 山田陽滋, “足部自動ストレッチング機器による足部背屈ストレッチングが健常高齢者の腓腹筋筋腱複合体に及ぼす影響—超音波画像診断装置を用いた検討—”, 第24回日本基礎理学療法学会抄録集, p.104, 2019. <ポスター発表>
- ④ 山田南欧美, 橋本千里, 後藤華奈, 白石雄馬, 岡本正吾, 秋山靖博, 山田陽滋, “健常高齢者に対する足部自動ストレッチング機器の有効性検証”, 第8回日本支援工学理学療法学会抄録集, p.45, 2019. <ポスター発表>
- ⑤ [Naomi Yamada](#), Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, Kaoru Isogai, and Yoji Yamada, “Ankle Stretching Rehabilitation Machine for Equinovarus: Design and Evaluation from Clinical Aspects”, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'17), pp.1687-1692. <英語口頭発表>
- ⑥ Takuzo Kimura, Shogo Okamoto, [Naomi Yamada](#), Yasuhiro Akiyama, Kaoru Isogai, and Yoji Yamada, “Ankle stretching rehabilitation machine for equinovarus: Automation of eversion and flexion control”, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'17), pp. 2696-2700.

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 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Naomi Yamada, Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Principal motion analysis of manual stretching techniques for the ankle joints | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science | 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） なし | 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 Yuma Shiraishi, Shogo Okamoto, Naomi Yamada, Koki Inoue, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Pneumatically-driven stretching machine for ankle dorsiflexion: Safety concepts and effectiveness test involving healthy young subjects | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Robomech Journal | 6. 最初と最後の頁 10 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-020-00158-1 | 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 ○Yamada Naomi, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Isogai Kaoru, Yamada Yoji | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Ankle stretching rehabilitation machine for equinovarus: Design and evaluation from clinical aspects | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) | 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/SMC.2017.8122858 | 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3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田南欧美, 橋本千里, 後藤華奈, 白石雄馬, 秋山靖博, 山田陽滋 |
| 2. 発表標題 足部自動ストレッチング機器による足部背屈ストレッチングが健常高齢者の腓腹筋筋腱複合体に及ぼす影響 超音波画像診断装置を用いた検討 |
| 3. 学会等名 第24回日本基礎理学療法学会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田南欧美, 橋本千里, 後藤華奈, 白石雄馬, 岡本正吾, 秋山靖博, 山田陽滋 |
| 2. 発表標題 健常高齢者に対する足部自動ストレッチング機器の有効性検証 |
| 3. 学会等名 第8回日本支援工学理学療法学会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 ○Yamada Naomi, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Isogai Kaoru, Yamada Yoji |
| 2. 発表標題 Ankle stretching rehabilitation machine for equinovarus: Design and evaluation from clinical aspects |
| 3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|