

空気圧ソフトアクチュエータによる足関節の関節可動域訓練手法に関する検討

The method for range of ankle joint motion exercise using pneumatic soft actuators

○ 谷口 浩成（大阪工大） 小曳 黎人（津山高専） 山本 卓（津山高専）

Hironari TANIGUCHI, Osaka Institute of Technology
Raito KOBIKI, National Institute of Technology, Tsuyama Collge
Suguru YAMAMOTO, National Institute of Technology, Tsuyama Collge

Abstract: The onset of a stroke often causes movement disabilities like partial paralysis. If the condition does not improve, contractures may occur in some joints and muscles. Therefore, it makes daily life difficult for the patients. Normally, range of motion (ROM) exercise is prescribed by therapists to prevent the joints contracture and improve the patient's symptoms. However, the patients cannot receive enough rehabilitation, because the time of therapy from the therapist is limited. Thus, the purpose of this study is to develop a rehabilitation device for ankle joints. In this paper, we report the methods of ROM exercises for ankle joints using pneumatic soft actuators. We fabricated an experimental device with mechanism elements and pneumatic equipment. We also confirmed the performance of our proposal through the experiments.

Key Words: ROM exercise, Pneumatic soft actuator, CPM device

1. 緒言

事故や病気により体が麻痺したり、関節を動かすことができない状態が長く続いてしまうと関節に拘縮が現れる。拘縮が進行すると、強直に移行する場合があります。強直になると正常な状態に改善することが非常に困難となるため、拘縮を予防することが重要であると考えられている。また、拘縮になることにより、身体の可動関節の他動・自動運動による生理的関節可動域が欠け、生活活動が著しく抑止される状態を関節可動域制限と呼ばれている。関節可動域制限は、様々な関節に発症するが、その中でも足関節は歩行するうえで重要な関節であり、足関節の関節可動域障害を予防または改善するための関節可動域訓練装置が開発されている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。これらの装置は、足関節に対して底屈や背屈といった限られた関節可動域訓練が可能である。しかし、足関節の関節可動域訓練は、底屈や背屈以外にも複数の動作が必要である。こうした背景から、我々の研究グループでは3自由度の動作が可能空気圧ソフトアクチュエータを用いた足関節の関節可動域訓練装置に関する研究を実施してきた^{(5),(6)}。これらの研究は、柔軟、軽量といった特長を持った空気圧ソフトアクチュエータを駆動源とし、底背屈動作、内外転動作、内外返し動作を行う。

本論文では、これまでの関節可動域訓練試験結果から得られた問題点を考慮し、空気圧ソフトアクチュエータの配置と足部への作用の方法を見直し、再検討した関節可動域訓練手法について報告する。

2. 足関節の関節可動域訓練手法

足関節の関節可動域訓練は、底屈、背屈、内転、外転、内返し、外返し、回外、回内などの動作がある。底屈、および背屈動作は、主に距腿関節の可動による動作であり、内転、外転、内返し、外返しは、主に距骨下関節の可動による動作である。また、底屈、内転、内返しの複合運動として回外があり、背屈、外転、外返しの複合運動として回内がある。本装置では、これら複数の動作を、空気圧ソフトアクチュエータによって実現することを目指している。

これまで検討してきた足関節の関節可動域訓練装置では、空気圧ソフトアクチュエータが足に対して適切に作用していないことや、アクチュエータの繰り返し再現性が低い、踵の固定が不十分なことで十分な関節可動域訓練が可能な

い、などの問題点が明らかになっている。また、作業療法士から、足関節の関節可動域訓練を実施するときは、足の先端を動かすのではなく根元から動かすこと、しっかりと踵を包み込んで足を動かすこと、膝を固定して実施すること、内外返し単体で施術することは少なく複合運動である回内や回外を施術することがあるなどの指摘を受けた。これらの問題点と意見を元に、再度空気圧ソフトアクチュエータによる足関節の関節可動域訓練方法を検討した。Fig. 1に足の周りに配置されるアクチュエータを示す。各動作や機能を達成するために15種類のアクチュエータを組み合わせ用いた。ここでは、空気圧ソフトアクチュエータを用いた関節可動域訓練の実現方法について、背屈動作を例に説明する。

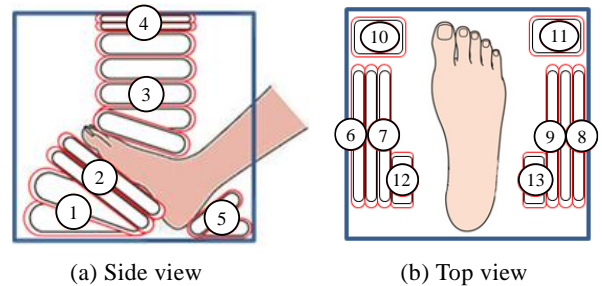


Fig. 1 Set up pneumatic soft actuators around foot and ankle.

Fig. 2に背屈動作の方法を示す。背屈動作は、1番と2番のアクチュエータにより足の底から押すことに加え、踵とくるぶしを5番、12番および13番のアクチュエータで包み込み、踵が後方へ移動しないようにした。

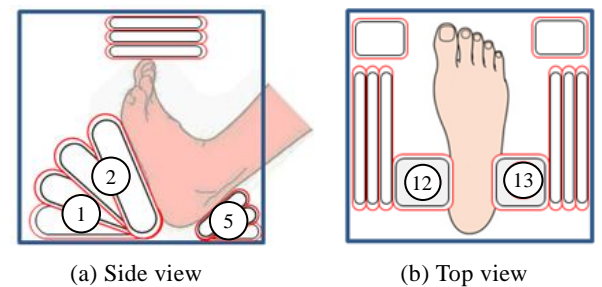


Fig. 2 The method of operation for dorsiflexion.

背屈動作時は，3番および4番の底屈動作用アクチュエータが動作を妨げるため，真空ポンプによりアクチュエータの吸気を行っている。

3. 関節可動域訓練試験

足関節の参考可動域角度に対する関節可動域訓練の到達度を確認するため，成人男性9名を被験者とし，右足を対象にして関節可動域訓練を行った。アクチュエータの印加圧力を20kPaとし，仰向けの状態で背屈用アクチュエータに対して足関節が90度になるように装置に足を挿入した。測定する動作は，背屈，底屈，内転，外転の4動作とし，各動作をデジタル角度計により測定した。なお回外，回内については測定が困難だと判断したため，目視による動作確認をした。測定結果は，足の大きさ順に並べており，被験者1が一番足のサイズが大きく，被験者9が一番足のサイズが小さい。

底屈動作の測定結果を Fig. 3 に示す。測定は3回実施した。赤い破線は，参考可動域角度の45度を表している。底屈動作の平均角度は35.4度となり，参考可動域角度を100%とした達成度は78.7%であった。被験者5番，6番，8番は，他の被験者と比べて達成度が低い結果となった。これは，底屈用アクチュエータが足部に作用する際，股関節が可動し，膝が前に移動することが原因の1つであると考えられる。Fig. 4 に底屈動作の様子を示す。

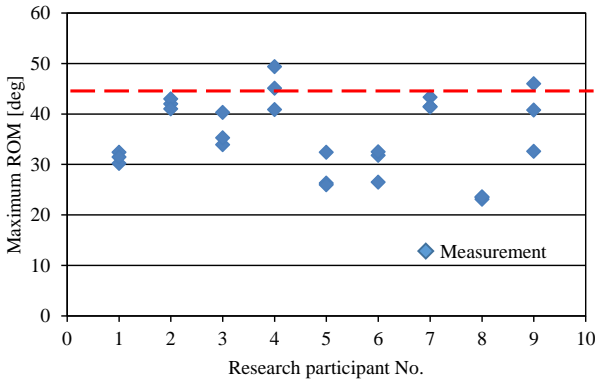


Fig. 3 The measurement results of plantar flexion motion.

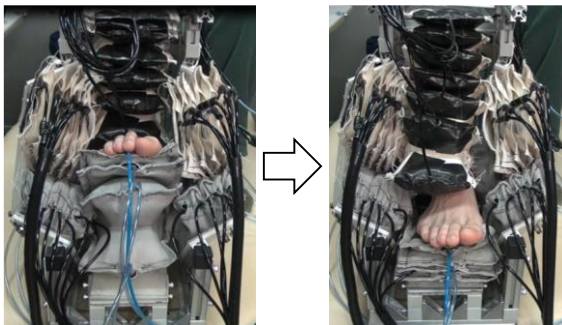


Fig. 4 Plantar flexion motion

次に，外転動作の測定結果を Fig. 5 に示す。外転動作の参考可動域角度は20度である。実験結果より，外転動作の平均角度は20.5度となり，達成度は102.4%であった。Fig. 5 より，被験者による測定結果のばらつきも少なく，大きさの異なる足に対して十分に外転動作を実施できることがわかった。

また，外転動作の様子を Fig. 6 に示す。外転動作は，足の上下に配置しているアクチュエータにより足を挟み込み，

固定した状態で，足の内側に配置しているアクチュエータにより足の側面を押すことで実現している。この時，踵が動かないようにアクチュエータにより固定されている。

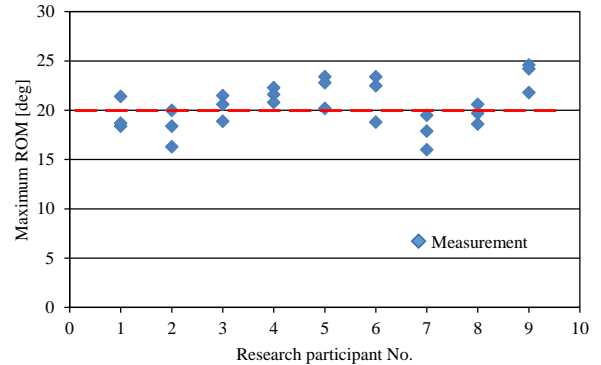


Fig. 5 The measurement results of abduction motion.

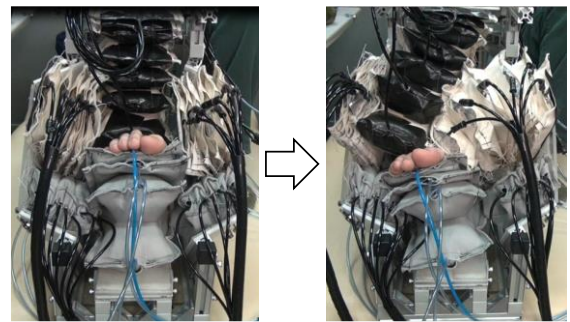


Fig. 6 Abduction motion

4. 結言

本研究では，空気圧ソフトアクチュエータを用いた足関節の関節可動域訓練方法の検討について，一部の動作を例に挙げて報告した。これまでの装置では，空気圧ソフトアクチュエータを直接足部に作用させることで動作の実現を目指していた。しかし，今回の改良では，空気圧ソフトアクチュエータで踵を固定して足の動きを制限させ，複数のアクチュエータを連動して使用することにより，関節可動域訓練の動作向上を試みた。

実験の結果，角度測定が可能であった背屈，底屈，内転，外転の4動作では，75%以上の達成度を確認した。しかしながら，被験者による関節可動域角度のばらつきが確認され，安定した運動を提供するためにはまだ不十分であることがわかった。また，回外動作と回内動作は，動作状態を定量的に評価することが難しく，これらの動作評価方法についても検討する必要性が明らかとなった。

謝辞

本研究は，平成27年度特別電源所在県科学技術振興事業（研究テーマ「筋リラクゼーションと関節可動域訓練を両立するソフトリハビリシステムに関する研究」）の補助を受けて実施されました。また，財団法人津山慈風会津山中央病院リハビリテーション課の皆様にご多大なる協力をいただきました。

参考文献

- (1) 山宮悠佑，鈴木章士，秋元俊成，松本明弘，空気圧アクチュエータを用いた足首関節リハビリユニットの

- 評価実験，日本機械学会関東支部第1回埼玉ブロック大会（講演会）講演論文集，No.050-5，2005.
- (2) 佐藤里香，嵯峨宣彦，齋藤 直樹，高梨宏之，長南 征二，空気圧バルーン型腱駆動システムを用いた足関節拘縮予防器械の開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集2007，1A1-J08，2007.
 - (3) 本間敬子，薄葉真理子，受動自由度を有する足関節底背屈訓練装置の開発，福祉工学シンポジウム講演論文集 2007，pp.178-180，2007.
 - (4) 鈴木里江，太田裕治，大塚博，内山朋香，高野千尋，中澤公孝，河島則天，運動機能障害者の二次障害予防を目的とした足関節受動運動装置の開発，生体医工学，Vol. 45 No. 2 p152-160，2007.
 - (5) Hironari Taniguchi, Noriko Tsutsui, and Yoshiaki Takano, Feasibility Test of Range of Motion Exercises for Ankle Joints Rehabilitation using Pneumatic Soft Actuators, Lecture Notes in Electrical Engineering, pp. 159-165, 2015
 - (6) 谷口浩成，高野義章，筒井法子，空気圧ソフトアクチュエータを用いた足関節拘縮予防機器の試作，平成27年度春季フルードパワーシステム講演会論文集，pp.46-48，2015.