

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

Ankle rehabilitation device with the function of muscle relaxation and ROM exercise

2031007



研究代表者

津山工業高等専門学校
電子制御工学科

准教授

谷 口 浩 成

〔研究の目的〕

日本の脳卒中患者数は約 134 万人（平成 17 年 10 月現在）であり、今後、高齢者数が増えるほど脳卒中の患者数も増えると予想されている。脳卒中の発症後、多くの場合は片麻痺や痙縮（手足の筋肉のつっぱり）などの運動機能障害を起こす。このような状態が長く続くと、関節の拘縮（筋肉が固まり関節の運動が制限される現象）が始まる。拘縮が重症化すると、正常な状態に戻すことは非常に困難となるため、拘縮を予防するリハビリ運動が重要となる。

通常、拘縮を予防するためには作業療法士や理学療法士によるリハビリ運動が施術される。このリハビリ運動は、緊張している筋肉やむくみが生じている部位をほぐしリラックスさせてから、屈曲（関節をまげる）、伸展（関節を反らす）、牽引（関節を引っ張る）、内外転（回す）、捻るといった複数の関節可動域訓練を行う。しかし、各療法士が患者に施術できる時間は限られており、患者は十分なリハビリを受けられないことがある。また、今後の患者数増加に伴い、介助者の介護負担増も懸念されている。

そこで本研究の目的は、軽量かつ柔軟なアクチュエータを駆動源とすることで、作業および理学療法士が施術するリハビリ運動を再現できるリハビリシステムを開発することである。すなわち、筋肉のリラクゼーションと、複数の関節可動域訓練を 1 つのシステムで実現するリハ

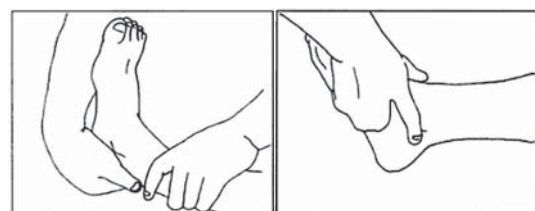
ビリシステムを開発する。

〔研究の内容、成果〕

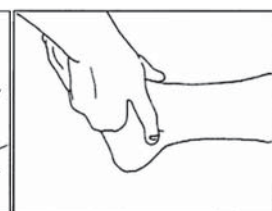
本研究では、空気圧ソフトアクチュエータおよび形状記憶合金（SMA）アクチュエータを用いた足首を対象としたリハビリシステムを試作し、動作実験を行った。

1. 理学療法士によるリハビリテーション

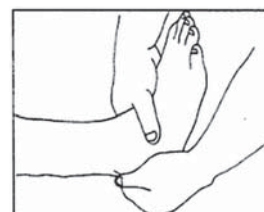
足首関節におけるリハビリテーションは、理学療法士によって施術される。一般に理学療法士が足首のリハビリテーションを行う際には、患者はベッドの上で仰向けになり、楽な姿勢を取り、関節可動域訓練の前段階としてリラク



(a) 背屈



(b) 底屈



(c) 内外転



(d) 内外返し

図1 理学療法士が行う関節可動域訓練

ゼーションを行う。リラクゼーションとは、足首のむくみや筋肉の緊張を取り除くことで、関節可動域訓練の効果の増大を図る動作である。具体的には、足首の位置を心臓より高くし、足をもみほぐすことなどを行う。

次に、理学療法士が行う関節可動域訓練を図1に示す。どの動作も掌で足を包むように行っており、踵や足部をしっかりと固定し適切な動作が行えるようにしている。

2. SMA アクチュエータを用いたリハビリシステム

装置の大きさは、AIST 人体寸法データベース^[1]より、人体寸法の平均値に基づいて決定した。6種類の関節可動域訓練は、装置に取り付けられたワイヤをSMA アクチュエータにより牽引することで実現した。また、ワイヤを各関節運動の軸を通すことで、そのワイヤが関係しない動作をしているときにたわみ難い構造にした。実際に人体に触れる部分にはクッション材を利用できるようにした。

次に、背屈動作を例に動作原理を説明する。初期状態ではワイヤが図2(a)のように配置されている。ワイヤ端部に取り付けられているSMA アクチュエータの駆動により、固定部が引っ張られ図2(b)のようにリハビリ動作を行う。

SMA アクチュエータを取り付けた装置の外観を図3に示す。SMA アクチュエータは、動作ごとに使用するため、合計6ユニットを配置

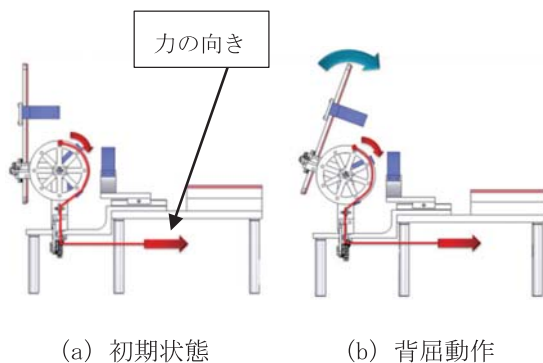


図2 背屈動作の動作原理

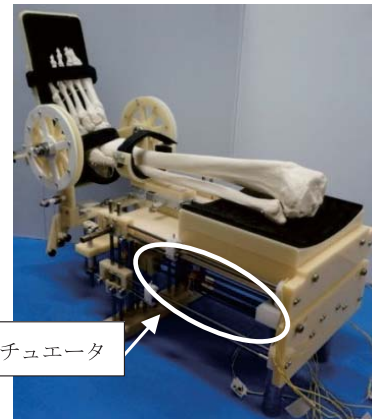


図3 試作機

表1 関節可動域の測定結果

関節可動域訓練	到達角度 [deg]	目標角度 [deg]
底屈	20.1	33
背屈	33.7	51
内がえし	19.6	30
外がえし	14.3	20
内転	21.9	20
外転	9.6	10

した。

被験者を20歳男性の健常者とし、底屈、背屈、内がえし、外がえし、内転および外転動作の駆動実験を行った。この時、SMA アクチュエータには、1Aの電流を約30秒間印加した。それぞれの到達角度および関節可動域表^[2]を参考にした目標角度を表1に示す。

底屈、背屈、内がえし、外がえし動作が目標値に達しなかった理由として、動作中に装置のフレームがゆがんでしまい、力の伝達がうまくできなかった問題が考えられる。目標角度を満たすためには、材質、形状の見直しが必要であると考えている。

3. 空気圧ソフトアクチュエータを用いたリハビリシステム

空気圧ソフトアクチュエータは、空気の印加圧力を制御することにより、発生力と変位を調整でき、構造体自体が柔軟で、生体適応性や安全性が高い。本研究では、6動作の関節可動域訓練を実現するために、大きさの違う2種類の

空気圧ソフトアクチュエータを製作した。本アクチュエータは、外部カバーと内袋から構成される。外部カバーは木綿の帆布を用い、内袋はアルミラミネートフィルムを張り合わせて製作した。これらの空気圧ソフトアクチュエータをアクリルで製作した筐体内部に配置し、筋肉のリラクゼーション運動と関節可動域訓練の動作検証用装置を試作した。図4に試作機の構造を示す。筋肉のリラクゼーションは、対向するアクチュエータで足を挟むことによって実現した。また、関節可動域訓練は、各動作に必要なアクチュエータが膨張し、直接足を押すことで行った。

また、足首を固定するための空気圧ソフトアクチュエータを、図5のように取り付けた。本アクチュエータは底面に1箇所、側面に2箇所の計3箇所取り付けており、関節可動域訓練時に足が動き、関節可動域訓練用の空気圧ソフトアクチュエータの作用点がずれるのを防ぐ。また、足首固定用アクチュエータに空気圧を印加

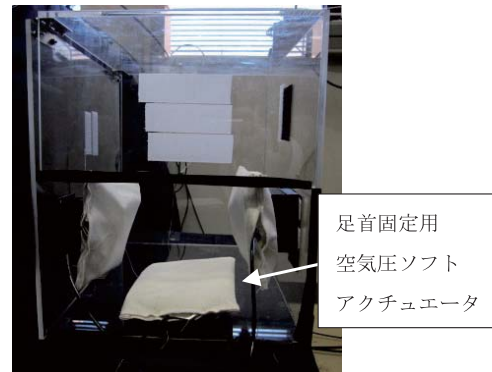


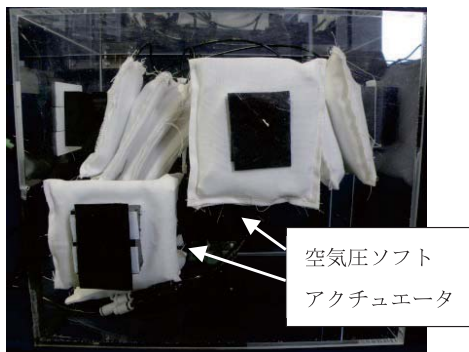
図5 足首固定用空気圧ソフトアクチュエータ

する事によって、装置の底面より踵の位置が約30 mm上昇する。そのため、関節可動域訓練を行いやすくなる。

次に、関節可動域訓練の動作試験について説明する。実験は、健常者を被験者として行った。エアコンプレッサから50 kPaの印加圧力で加圧した場合において、各関節の可動角を求めた。関節角度の測定は、ビデオカメラにより画像を撮影し、運動解析ソフトウェアを用いて動作を解析した。

実験から得られた結果を表2に示す。表2より、どの訓練動作も目標角度をほぼ達成していることがわかる。これより、空気圧ソフトアクチュエータを用いることによって、足首関節の関節可動域訓練が可能であると考えられる。図6に背屈動作、図7に外転動作の実験の様子を示す。初期状態を破線、訓練動作時を実線で表している。

本年度は、異なる2種類のアクチュエータを用いて足首関節用のリハビリシステムをそれぞれ試作し、関節可動域訓練を検証した。その結果、SMAアクチュエータを用いる場合より、



(a) 側面



(b) 上面

図4 試作機の構造

表2 関節可動域の測定結果

関節可動域訓練	到達角度 [deg]	目標角度 [deg]
底屈	59	45
背屈	24	20
内外がえし	23	20
内外転	28	30

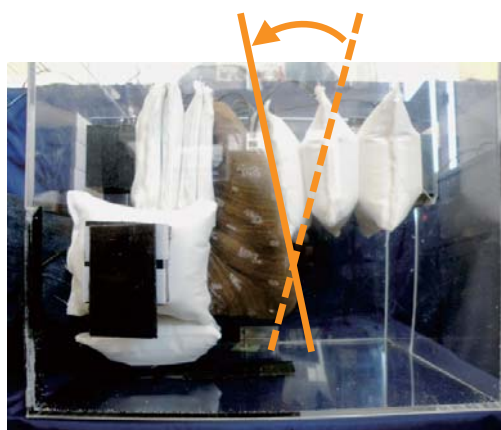


図6 背屈動作



図7 外転動作

空気圧ソフトアクチュエータを用いたほうがよいことが明らかになった。

[今後の研究の方向，課題]

研究目的でも述べたとおり，本リハビリシステムの特徴は，筋肉のリラクゼーションと関節

可動域訓練のどちらも1つの装置で実現できる点にある。本年度は主に，関節可動域訓練の実現に注力した。筋肉のリラクゼーション機能は，空気圧ソフトアクチュエータを用いることで実現できることを見出しているが，その効果の検証ができていない。従って，リラクゼーション機能の効果を検証することが必要である。

また，被験者を増やし，足の形状や大きさが異なる場合でも必要な運動が提供できることを実証する。また，各運動の精度を向上させると共に，膝関節の固定方法を含めたりハビリ装置を開発する。そして，理学療法士の協力のもと，リハビリ効果の検証を行う。

[参考文献]

- [1] AIST 人体寸法データベース 1991-92 :
<https://www.dh.aist.go.jp/database/91-92/>
- [2] 石川 齊，古川 宏：図解作業療法技術ガイド，第2版，文光堂，pp. 53, 2003

[成果の発表，論文等]

1. 竹花大貴，谷口浩成，筒井法子，脇元修一，諸星宣宏：SMA アクチュエータを用いた足首関節用拘縮予防装置の開発，日本機械学会中国四国学生会第44回学生員卒業研究発表講演会，706, 2014. 03.
2. 筒井法子，諸星宣宏，谷口浩成，脇元修一：理学療法士の施術を指向した足首関節の拘縮予防に向けた医療機器の検討，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集，3P2-A01, 2014. 05.
3. 筒井法子，谷口浩成，脇元修一：空気圧アクチュエータを用いて3自由度の動作を実現する足首関節用リハビリ装置の開発，日本機械学会年次大会 2014, 2014. 09 発表予定