

遊脚初期の大腿部引き上げ補助を考慮した ストックウォーキングツールの開発

平川 真之^{*1} 上杉 繁^{*2}

Development of Stock Walking Tool Supporting for Raising Thigh in Early Swing Phase

Masayuki Hirakawa^{*1}, Shigeru Wesugi^{*2}

Abstract - The ability to walk is important to live an independent life. There are various walking aids and tools for walk rehabilitation. Authors found there were few tools which had two functions of training and assistant in walking and also which could be utilized in daily life. In this research authors focused on a stock walking that can support user's weight with stocks and that can also increase an objective exercise intensity without subjective fatigue. Then authors devised a stock walking tool that supports for raising thigh in early swing phase. The walking tool is composed of wire drive mechanism and pole on right and left side. The wire drive mechanism embeds a winder inside with unique tensioner of spiral spring and is mounted around user's waist. The wire in the drive mechanism connects with an attachment on the knee through a pulley on the pole. When the user puts the pole on the ground, a sensor attached on the tip of pole detects the contact. Then, the drive mechanism starts to rotate the wire and supports the user to raise the lower limb. Finally, performance test indicated that the tool can lift sufficient weight to support raising a lower limb.

Keywords: stock walking, assistive device, walking training, lower limb raising support, swing phase

1. はじめに

高齢者が自立した生活を送るために、歩行は非常に重要な意味を持つ。高齢者のみならず筋力が低下した人の歩行時の課題として、ふらついてしまう、脚を上手く持ち上げることができないことなどが報告されている[1]。そして、こうした歩行時の課題解決のために、様々な介護用具やリハビリ用具が利用されている。これらの器具の目的として足腰にかかる荷重を上半身の力で免荷すること、体重を支える支持点を増やすことにより歩行時の安定性を向上させること、そして下肢の持ち上げを補助することなどが挙げられる。

一本杖や多脚杖は比較的安価で、不整地でも使いやすいため、幅広く使用されている。一方、歩幅を矯正しながら歩行することを補助する機械装置[2]も多数考案されている。

また、機械を用いた歩行トレーニングとして、体重を装置によって免荷し、脚や腰にかかる負担を軽減させた状態でトレーニングをする方法がよく利用されている[3]。

以上に挙げたように、歩行を補助したり、体重免荷したりなどの様々な歩行支援装置があるが、その一方で比較的大掛かりな装置も多く、一般的な家庭や日常生活の中で必ずしも頻繁に利用されていない。これに対し本研究では、運動効果を享受させつつ、体重の免荷や下肢の持ち上げを補助することを目指し、高齢者や筋力が低下

した方々を対象とした新しい手法の歩行トレーニングツールについて検討することにした。

2. 研究方法

運動効果と歩行補助を同時に満たすような歩行トレーニングの方法は、下記のような要件を満たす必要があると考えた。

- ①短時間で比較的高負荷の全身運動
- ②遊脚初期時に下脚の振り上げを補助
- ③認知的負荷の少ない動きで行うことが可能
- ④一人で扱うことが可能
- ⑤片側の下肢の重さの約 20%に当たる約 1.5[kg]分を補助する(股関節トルクの約 20%を補助)

特に⑤に関しては、遊脚初期における股関節トルクは約 110[W]であり、参考にした文献[4]ではその約半分を補助していた。今回はさらに小型化を目指すために補助率は小さくなってしまいが、股関節トルクの約 20%を補助すると考えこの値を目標にした。

次に、研究を進めるにあたりストックを利用した歩行方法に着目した。このウォーキング方法は、富岡らの論文によると、ストックを有効に用いることで主観的な疲労感が高まることなく、客観的な運動強度（生体負担度）を高めることが可能であるということが報告[5]され、高負荷の全身運動をすることが可能であると考えられる。

*1: 早稲田大学大学院 創造理工学研究科

*2: 早稲田大学 理工学術院

*1: Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

*2: Faculty of Science and Engineering, Waseda University

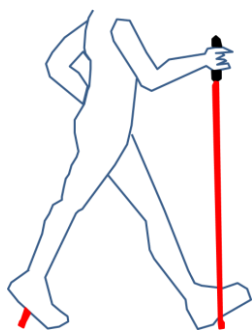


図1 スtockウォーキングディフェンシブスタイル

Fig.1 Defensive style of stock walking

さらに著者らは、ストックウォーキングの中でも、図1に示すようなディフェンシブスタイルと呼ばれる歩行方法にさらに着目した。この歩行方法では、右手側のストックを接地し、ストックに荷重をかけながら右足を持ち上げ、次に、左手側のストックを接地し、同様に荷重をかけながら左足を持ち上げるという動作を繰り返す歩行方法である。この方法は、ある程度の重さ(1本当たり200[g]程度)を持つストックという負荷を動かすことで生活運動対策になり、ストックに体重の一部をかけることで下肢関節にかかる荷重を減少させることができる。そのため、関節障害保持者やけがのリハビリなどに利用され、ストックを突きながら歩行することによりバランスを取りながら、運動効果の高い歩行が可能である[6]。

著者らは、図2に示すように、この歩行方法を活用した新たな歩行トレーニングツールを考案することにした。

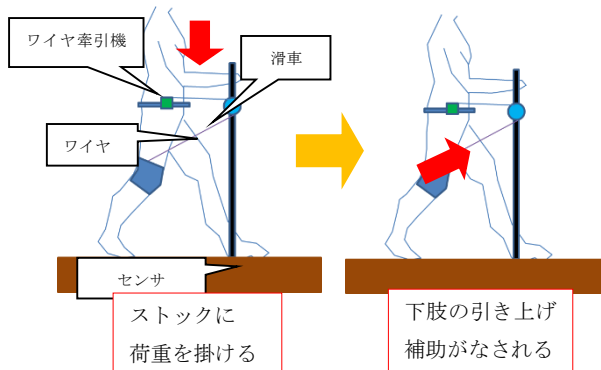
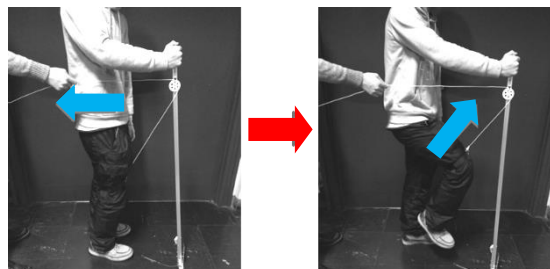


図2 スtock接地によりワイヤ牽引による
下肢引き上げ補助イメージ

Fig.2 Image of the lower limb raising support
by wire driven with stock grounded

ストックを接地させて体重をかけた際に、ストック先端に装着した圧力センサにより荷重状態を検出し、腰に装着したワイヤ牽引機構によって、膝部につけたワイヤを巻き取る。これにより、遊脚初期において膝がワイヤにより引き上げられ、下肢の持ち上げが補助される。つまり通常のストックと同様の動きで下肢の持ち上げが補助されるため、意図的に操作することなく一連の歩行動作の中で下肢の引き上げが補助される。

そして、この方法の可能性を検証するため、図3に示すようなモックアップをまずは製作した。膝部にベルトを取りつけ、そこにワイヤを固定する。そしてストックの把持部下につけた滑車を介して、補助者がワイヤを引っ張り保持する。図3に示すように、ストックに荷重を掛けたときに、補助者がワイヤを引っ張ることにより装着者の下肢が持ち上げられる。モックアップの体験により、下肢を持ち上げが確かに補助されることを確認できたため、装置開発に取り組むことにした。



体験者がストックに荷重をかけ、補助者がワイヤを引っ張る

下肢の引き上げ補助がなされる

図3 下肢引き上げ補助の効果を確かめるための
モックアップの体験

Fig.3 Mockup experience to confirm the effect
of lower limb raising support

3. 装置設計

ストックに取り付けた滑車を介して、膝部に付けたワイヤを装置が巻き取る際に、確実に膝部を引き上げるためには、ストックが滑ったり傾いたりしないように、前方に腕で押さえる必要がある。

そのため装置を製作するにあたり、巻き取り力と腕にかかる負荷の関係を検討することにした。そこで、ストックを床に押さえつけ、かつストックが動かないように保持する状況として、図4に示すようなモデルを作成した。そして、下肢の引き上げに必要な力を14.7[N]程度と想定し、表1に示した値を用いて計算をした。

杖の先端の摩擦係数は製品安全協会[7]が定める試験において最低基準である0.4とし、ワイヤの張力を19.6[N]、腕がストックを下に押さえる力を、通常のストックウォーキング時に下肢を持ち上げ始める時にストックにかかる荷重と同等の19.6[N]と予備実験より設定し、腕がストックを前方に押さえる力をP[N]とし計算した。

その結果腕がストックを前方に抑える力は16.9[N]程度であることが分かった。この値はストックの下方方向に掛ける荷重より小さい値であることから、現実的な値であろうと判断し、この値を踏まえ性能値を決定した。

そして、下肢引き上げ機構、ストック部からなる装置とし、接地条件として、下記のような要求諸元とした。

A. 下肢引き上げ機構

- ・ワイヤ牽引機内の 15[N] を巻き上げることが可能なモータ、ギア
- ・ワイヤを常に張った状態に保つためのぜんまいばね
- ・簡単に着脱できるベルト
- ・装置のワイヤ牽引力を下肢に伝えるための滑車

B. スtock部

- ・長さ調節 (100-130[cm]) が可能なstock

C. 接地検出

- ・stockの接地状態を検知するための圧力センサ (0.2-20[N])

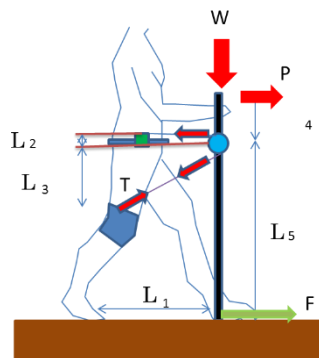


図4 腕がstockを前方に押さえるために必要な力を算出するためのモデル

Fig.4 Model for calculating the force required to arm holding the stock forward

表1 腕がstockを前方に押さえるために必要な力を算出するために必要な値

Table.1 Value for calculating the force required to arm holding the stock forward

名称	記号	値
ひざ裏からstockまでの距離	L_1	0.6m
モータと滑車の高さの距離	L_2	0.1m
滑車とひざ裏の高さの距離	L_3	0.3m
stockを握る部分と滑車の距離	L_4	0.35m
滑車からstock先端までの距離	L_5	0.7m
stockの先端の摩擦係数	S	0.4
モータによるワイヤの張力	T	14.7N
腕がstockを下方向に押す力	W	19.6N
stockを固定するのに必要な摩擦力	F	25.0N
腕がstockを固定するのに必要な力	P	16.9N

4. 装置開発

製作した装置の全体とシステム構成を図5, 6に示す。下肢引き上げ装置の大きさは100×70×150[mm]であり, 装置重量は片側900[g]である。要求緒元Aを満たすために装置内部にぜんまいばねが取り付けられており, ぜんまいばねとワイヤ巻き取り部はワイヤで繋がれている。ワイヤ巻き取り部に取り付けられたワイヤが引っ張られるとぜんまいばねが回転する。ぜんまいばねの弾性力によ

り膝につながるワイヤは常に引っ張られた状態となり張った状態を保つことができる。ワイヤを張った状態を保つ理由は, ワイヤがたるんで軸から外れることを防ぐためや, 下肢持ち上げ補助の時にモータの回転と下肢引き上げのタイミングを一致させるためである。

要求緒元B, Cを満たすために, stock上部にはワイヤを介するための滑車をボルトとナットを用いて固定した。またstock先端に圧力センサを固定した。

次に本装置のシステムについて説明する。本装置はstockに荷重がかかると力センサが荷重状態を小型のマイコン (Arduino Uno) にアナログ入力する。小型のマイコンは荷重状態を検出しモータコントローラにデジタル出力する。デジタル入力を受けたモータコントローラはモータに出力しモータを回転させワイヤを巻き取る。



図5 stockウォーキングツールの全体図と各機能

Fig.5 Stock walking tool and each mechanism

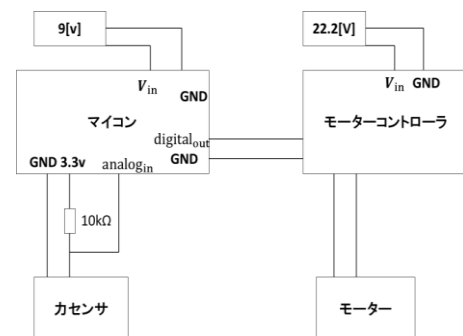
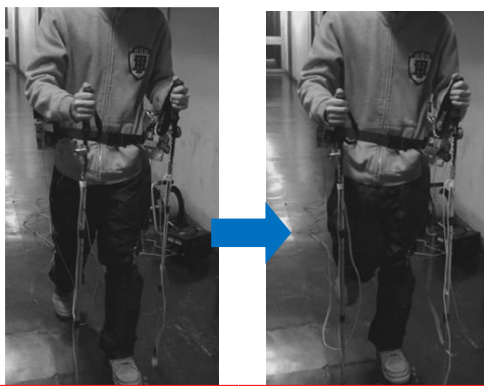


図6 下肢引き上げ補助機構のシステム構成
Fig. System configuration of the lower limb raising support mechanism

5. 考察

装置を装着した状態でワイヤの先に重りを取り付け、下肢引き上げに必要な重さと同等のおもりを引き上げる事が可能であるかを試験した。その結果、設計要件としていた下肢の重さの20%とほぼ同等である1.5[kg]の重さのおもりは引き上げることが可能であることがわかった。次に著者自身が実際に使用してみたところ、歩行時に下肢引き上げ補助機構による補助に下肢の持ち上げを委ねながら歩行をすることにより、補助を受けながら歩行することが可能であることがわかった。図7に実際に使用している様子を示す。左側の図が右手側のストックに荷重を掛けている図であり、右側の図は補助を受けながら下肢を持ち上げている図である。



右手側のストックに荷重を
かけている様子

下肢引き上げ補助機構による
補助を受けながら右足の
下肢を持ち上げている様子

図7 装置体験

Fig.7 The device experience

装置は片側の下肢の約20%にあたる1.5[kg]を引き上げることが可能であり、装置装着時の歩行体験では補助を受けている感覚を得ることができた。今回は機能検証のための装置として試作したが、実際に利用してもらうためには以下の項目等を検討する必要がある。

- ・装置の軽量化・小型化（腰部に手軽に装着できるように100×100×50[mm]程度）
- ・マイコンと圧力センサを有線につないでいるため絡まりやすく使用時に躓く恐れがある

今回は装置におもりを引き上げさせることにより、物理量として引き上げることは可能であった。今後、被験者実験を行い、装置の効果を検証していく必要がある。以下に現在検討している被験者実験のデザインを示す。

下肢引き上げ補助を行いながら、ストックウォーキングを行うことにより、通常のストックウォーキングや歩行と比較する。そして下肢引き上げ機能が与える補助の効果を、下肢を持ち上げる際に主に用いられる筋肉である腸腰筋の筋電位と腰関節角度の変化量を比較することにより、定量的に装置の補助効果を調査する。

図8に将来的な装置の使用イメージを示す。100×

100×50[mm]程度に駆動装置を小型・軽量化し、さらに、スマートフォンなどと連動させることで歩数や歩行速度などの歩行状況を取得し、個人毎に対応した装置を設計開発することにより、新しい歩行トレーニングツールとしての展開を目指している。



図8 将来的な装置の使用イメージ

Fig.8 Figure of future prospects

6. まとめ

本研究ではストックを有効に用いることで主観的な疲労感が高まることなく客観的な運動強度(生体負担度)を高めることが可能であるという特長があるストックウォーキングに着目した。ストックの接地状態をセンサで検知し、下肢引き上げ機構により下肢を引き上げるというアイデアを基にして、ストックウォーキング時の遊脚初期において下肢引き上げ補助を行う装置を試作した。そして、おもり牽引試験と装置使用体験により下肢を引き上げる機能を確認した。今後は、効果を検証するための被験者実験を実施し、さらに、実用化を目指して小型・軽量化したツール開発に取り組む。

参考文献

- [1] 鈴川芽久美ら:要介護高齢者における転倒と骨折の発生状況;日老医誌, Vol46, pp.334-340 (2009)
- [2] 安原謙ら:リズム歩行アシスト;Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.2, pp54-62, (2009)
- [3] 黒木裕士ら:空気圧を利用した部分荷重トレッドミル歩行が消費エネルギーに及ぼす影響;理学療法学, Vol31, No.5, pp319-324, (2004)
- [4] 田中栄一郎ら:足裏から下肢全体を支援する歩行補助機の開発;日本機械学会論文集, Vol72, No.724, pp177-183, (2006)
- [5] 富岡徹ら:ストックを使ったウォーキングの歴史と身体的効果の文学的検討;名城論叢, pp15-27, (2008)
- [6] 全日本ノルディック・ウォーク連盟:ノルディック・ウォークについて; <http://www.nordic-walk.or.jp/index_info/nordic_walk_info.aspx>(accessed 2015-1-13)
- [7] 財団法人 製品安全協会:棒状つえの認定基準及び基準確認方法;<<http://www.sg-mark.org/KIJUN/S0073-02.pdf>> (accessed2015-1-26)