

＜研究課題＞腰痛患者の選択的体幹サポートを実現する 多フレーム型アクティブ装具の開発

代表研究者 千葉大学フロンティア医工学センター 教授 折田 純久

【抄録】

本研究では、腰痛を惹起する動作は制限しつつ日常生活動作は阻害しないコルセット製作に向けた基礎研究として選択的に腰椎の動作を許容するコルセットを設計・開発し、動作確認することを目的として腰痛治療に用いられる従来型体幹コルセットの問題点を克服する事を試みた。従来型のコルセットをもとに体幹を支持するコンセプトモデルの作成から行い、3D プリンタを用いた硬性素材及びプラスチックを用いた軟性素材で動作の違いを確認し、実寸サイズでの作成を行った。実際にアクチュエータ及びボールジョイント等を導入し、制動を想定した前後屈と回旋動作のうち前後屈制御を主目的とした製作を行った。本コルセットではこれを実現する機構としてラックアンドピニオン機構を導入したアクチュエータを試作した。本コルセットにおける駆動性評価として、まずはアクチュエータにおける搭載モータに加わる電圧と負荷重量の関係、及び負荷重量とラック部分の変位との関係性を評価した。その結果電圧に関しては負荷重量の増大に伴う電圧低下がみられ、これが同時に観察されたラック部分の急激な変位の低下にもつながっていると考えられる。また、コルセットの駆動性評価に関しても負荷重量とラック部分の変位との関係性を評価したところ、アクチュエータのみの結果と比べて負荷重量が低値の段階で変位が 0 となった。その原因は二つ考えられ、一つ目はコルセットの円形フレームの重量が負荷重量に加算されていること、二つ目は本研究で製作したコルセットはアクチュエータ二つを軸として支えていることによる垂直成分以外の力が負荷されていることが考えられ、今後は軸の数を増やすことも検討する必要がある。

1. 研究の目的

1-1 背景

腰痛の保存療法の一つとして、コルセット(腰部固定帯)による装具療法があげられる。コルセットの役割は、腰椎の固定及び腹部圧迫をすることによって、腹圧安定を伴って体幹を安定させ、腰椎の安定性を図るものである。しかし、腰部を一律に固定する既存のコルセットでは、腰痛を惹起する動作を制限し鎮痛を図る一方で、日常生活に必要な動作の制限によって筋力低下や日常生活への影響が出ることがある。

1-2 目的

本研究では、このような従来型コルセットの問題点を改善するため、腰痛を惹起する動作は制限しつつ日常生活動作は阻害しないコルセット製作に向けた基礎研究として、選択的に腰椎の動作を許容するコルセットを設計・開発し、動作確認することを目的とした。

2. 研究方法と経過

2-1 製作概念

腰椎可動域の選択的制限を制御することを念頭に回旋動作と前後屈の制動を行うコルセットの

製作を検討し、そのうち本研究では前後屈の制御が可能である多フレーム型コルセットを製作した。(図 1)(図 2)

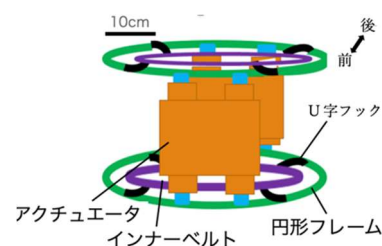


図 1 コルセットのコンセプト図

円形フレーム及びアクチュエータに関しては 3D プリンタで製作し、硬性素材となっている。そのため、円形フレームから体幹の動きを自由に伝達出来ない可能性があることから円形フレームの汎用性と体幹への適合の両立を目的としてインナーベルト機構を導入した。また、上下フレームの連動性を重視し、アクチュエータはラックアンドピニオン機構を導入し、一つの歯車によって制御可能とした。また、ボールカップリングをジョイントとして導入した。

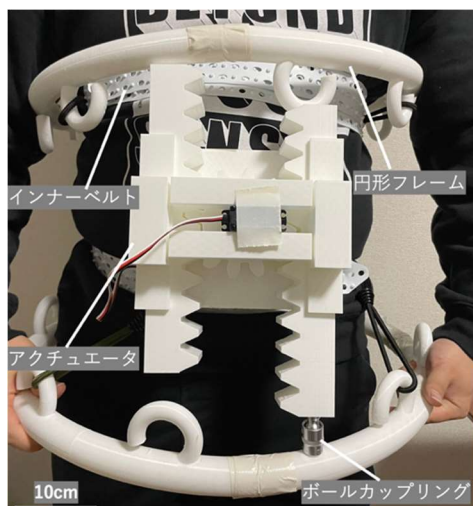


図2 試作コルセット

2-2 駆動性評価

コルセットの駆動の要となるアクチュエータの駆動性評価を行なった。コルセットの駆動性評価を行うにあたって、コルセットの動力源となるラックアンドピニオンの駆動性評価を行い、人の実体重を支えられる強度であるかを実験した。これにより体幹を前屈した時にどの程度重量を支えられるかを確認する。今回は日本人の 20 歳以上の男性の平均体重が 67.3kg から体重 70kg を支えられることを目標とした。アクチュエータに重量負荷した場合のラック部分の変位との関係性を評価し、さらに製作したコルセットに負荷重量をかけた場合のラック部分の変位との関係性を評価した。

3. 研究の成果

アクチュエータにおける搭載モータに加わる電圧と負荷重量の関係及び負荷重量とラック部分の変位との関係性を評価した。その結果、電圧に関しては負荷重量の増大に伴う電圧低下がみられ、これらが同時に観察された。また、コルセットの駆動性評価に関しても負荷重量とラック部分の変位との関係性を評価したところ、アクチュエータのみの結果と比べて負荷重量が低値の段階で変位が 0 となった (図 3)。

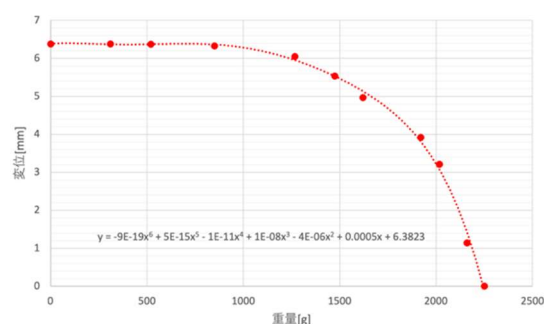


図 3 アクチュエータにおける負荷重量と変位の関係

表 コルセットにおける負荷重量と変位の関係

重量(g)	0	310	520	850	1268	1475
変位(mm)	4.24	2.15	1.03	0	0	0
重量(g)	1620	1920	2017	2161	2250	
変位(mm)	0	0	0	0	0	

4. 考察と今後の課題

コルセットの駆動性評価に関してアクチュエータのみに比べて負荷重量が小さい段階で変位の大きさが 0 となった原因は二つ考えられる。一つ目はコルセットの円形フレームの重量が負荷されており、上下の円形フレームの重量が加わっていることである。二つ目は、コルセット自体のバランスの問題である。本研究で製作したコルセットは二つのアクチュエータを軸として支えていることによる垂直成分以外の力がかかってしまったことが考えられることから、今後は軸の数を増やすことも検討する必要がある。

5. 研究成果の公表方法

本研究は 2023 年 第 32 回日本腰痛学会にて口演にて発表を行った。今後はさらに研究を進め、臨床試験を経て社会実装を目指す予定である。

以上

Development of a multi-frame active brace for selective trunk support in patients with low back pain.

Primary Researcher: Sumihisa Orita
Professor, Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

Abstract

In this study, we aimed to create a corset that limits motions causing lower back pain without restricting daily activities. We designed a corset that allows selective lumbar spine movement, improving upon traditional corsets' limitations. Using 3D-printed rigid and plastic soft materials, we crafted full-scale models that focused on controlling flexion and extension. Our prototype included a rack and pinion actuator to facilitate this. In testing, we noted a voltage drop in the actuator motor under higher loads, leading to less rack displacement. This was more pronounced in the corset than in the actuator alone, likely due to the additional weight of the corset's frame and non-vertical forces, as it's supported by two actuators. Future designs may require more axes to improve functionality.

1. Aim of Research

1-1 Background

As one of the conservative treatments for lower back pain, orthotic therapy using a corset (lumbar belt) is often utilized. The role of the corset is to stabilize the trunk by fixing the lumbar spine and compressing the abdomen, thereby achieving stability of the lumbar spine with abdominal pressure stability. However, existing corsets that uniformly fix the lumbar region can restrict movements that provoke lower back pain and provide pain relief; they can also lead to muscle weakness and impact daily life due to the restriction of movements necessary for daily activities.

1-2 Purpose

The purpose of this study is to conduct fundamental research aimed at creating a corset that improves upon the problems of traditional corsets by restricting movements that cause lower back pain while not inhibiting daily life activities. To this end, we designed and developed a corset that selectively allows movements of the lumbar spine and verified its operation.

2. Materials and Methods

2-1 Production Concept

With the aim of controlling the selective restriction of the lumbar spine's range of motion in mind, we considered the

production of a corset that would brake rotational movements and flexion-extension. In this study, we created a multi-frame type corset that can control flexion and extension. (Figure 1) (Figure 2)

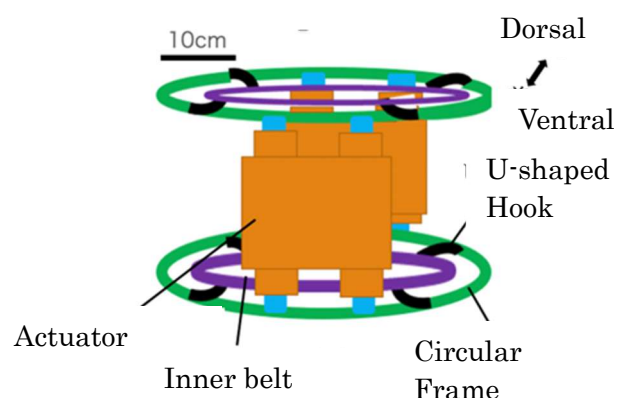


Fig.1 Concept of the corset

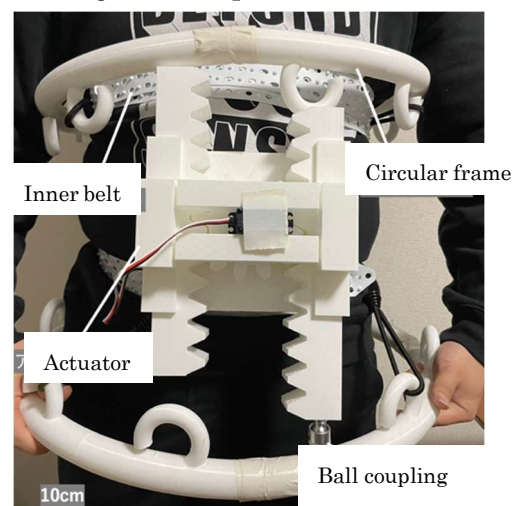


Fig.2 Proototype of the corset

Regarding the circular frame and the actuator, they were produced using a 3D printer and are made of rigid materials. Therefore, there is a possibility that the movement of the trunk cannot be freely transmitted from the circular frame. With the aim of achieving both the versatility of the circular frame and the proper fit to the trunk, we introduced an inner belt mechanism. Additionally, with a focus on the interactivity between the upper and lower frames, the actuator was designed with a rack and pinion mechanism, allowing control by a single gear. A ball cup coupling was also introduced as a joint.

2-2 Drive Performance Evaluation

The drive performance of the actuator, which is essential for the corset's operation, was evaluated. In conducting the drive performance evaluation of the corset, we assessed the drive performance of the rack and pinion, which is the power source of the corset, and experimented to see if it has the strength to support a person's actual weight. This allows us to verify to what extent it can support weight when the trunk is flexed forward. The target was set to support a weight of 70 kg, considering that the average weight of Japanese men over 20 years old is 67.3 kg. The relationship between the displacement of the rack part when the actuator is loaded with weight was evaluated, and further, the relationship between the displacement of the rack part when the load weight was applied to the corset that was produced was evaluated.

3. Results of Research

The relationship between the voltage applied to the mounted motor of the actuator and the load weight, and the relationship between the load weight and the displacement of the rack section were evaluated. As a result, a decrease in voltage was observed as the load weight increased, and these were observed simultaneously. In addition, the relationship between the load weight and the displacement of the rack part was also

evaluated for the evaluation of the drivability of the corset, and the displacement became zero when the load weight was low compared to the results for the actuator alone (Figure 3).

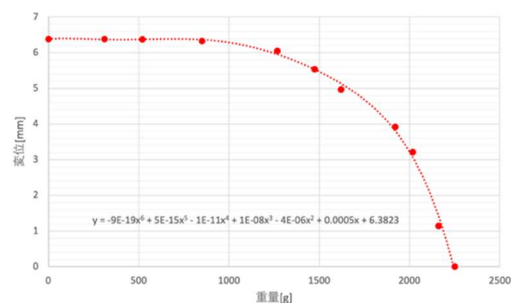


Fig. 3 The relationship between load weight and displacement in the actuator

Table. The relationship between load weight and displacement in the corset

Weight(g)	0	310	520	850	1268	1475
Displacement(mm)	4.24	2.15	1.03	0	0	0
Weight(g)	1620	1920	2017	2161	2250	
Displacement(mm)	0	0	0	0	0	

4. Discussion

There are two possible reasons why the displacement became zero at a smaller load weight in the corset's drive performance evaluation compared to the actuator alone. The first is that the weight of the corset's circular frame was loaded, and the weight of the upper and lower circular frames was added. The second is a balance issue with the corset itself. It is considered that forces other than the vertical component were applied because the corset created in this study was supported by two actuators as axes; therefore, it may be necessary to consider increasing the number of axes in the future.

5. Means of Official Announcement of Research Results

This research was presented orally at the 32nd Japan Low Back Pain Association meeting in 2023. Going forward, we plan to further advance our research, conduct clinical trials, and aim for social implementation.