

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：82404

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12617

研究課題名（和文）脊髄損傷者用カーボン長下肢装具の開発

研究課題名（英文）Development of the Carbon-reinforced Exoskeleton for Persons with Spinal Cord Injury

研究代表者

河島 則天（KAWASHIMA, NORITAKA）

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所・運動機能系障害研究部・研究室長

研究者番号：30392195

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で開発した長下肢装具は、歩行運動出力に関わる脊髄歩行中枢の活動を惹起するために、従来型の長下肢装具の構造上の制約をカーボン素材の利点を生かした改変を行うとともに、膝の屈曲・伸展機構を追加することで健常者の歩容に近い歩行運動を実現することを目的とした。研究期間内にプロトタイプ機の製作と脊髄完全損傷者を対象とした試歩行および強度評価を終えることができた。膝屈曲・伸展機構については、試作段階を終え、動作評価を行ったが、現状では平行棒内での試歩行に留まっている。今後のさらなる開発が必要ではあるものの、2年の開発期間内で充分に、当初の企図とおりの目標を達成できる見通しを立てることができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a novel gait orthosis for persons with spinal cord injury. We use carbon composite materials instead of metal and plastic parts, and mounted dynamic knee movement mechanics. These improvements enable users to accomplishing physiologically suitable gait motion as compared to the conventional gait orthoses. Most importantly, the developed orthosis can be a tool for activating spinal locomotor center. The process for the development of prototype orthosis could be successfully finalized, and then a SCI patient tested to walk with wearing our orthosis. While we still have many tasks to reach goal, the progress of recent two year should be an important step to develop a novel gait orthosis.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：脊髄損傷 下肢装具 リハビリテーション 脊髄歩行中枢

1. 研究開始当初の背景

脊髄を損傷すると、多くの場合歩行障害が生じる。脳と麻痺領域の神経連絡が完全に途絶する完全損傷者に関しては、従来、歩行機能を再獲得できる可能性は皆無とされてきた。しかし、最近の中枢神経再生に関する研究のめざましい進歩は、脊髄完全損傷者であっても歩行機能の再獲得の期待を高めるに十分なものと言えよう。したがって、再生医療の実現を念頭に置いた脊髄完全損傷者の歩行機能再獲得に関する先見的な研究は極めて重要な意味を持つものと考えられる。

申請者はこれまで、脊髄完全損傷者が長下肢装具を用いた歩行運動を行っている際の麻痺領域の神経活動と循環動態に関する研究を実施してきた (Kawashima et al. *Spinal Cord* 2003, 2005, *Neurol Res* 2008)。歩行運動中には脚への荷重印可や関節運動に伴う筋・腱からの求心性入力が脊髄に投射する結果、脳との神経連絡が完全に遮断した麻痺領域にも歩行周期に同調した筋活動が生じる。この「歩行様筋活動 (locomotor-like muscle activity)」は脊髄歩行中枢の活動を反映することが知られており (Kawashima et al. 2005, 2008)、装具歩行の継続的な実施が痺領域の神経筋機能の退行抑制、歩行運動出力の維持をもたらす可能性がある。

そこで本研究では装具歩行の神経生理学的意義とリハビリテーション効果に着目し、従来型の長下肢装具の機能や構造、材質に抜本的な改変を加え、健常者の歩容に近い歩行運動を実現するための新しい装具の開発・製作を目指すこととした。

2. 研究の目的

本研究開発は、下肢完全麻痺を持つ脊髄損傷者であっても円滑な歩行運動が実現できる下肢装具の開発を目的とする。自然な歩容を実現するために以下の諸項目を要求仕様として設定し、重心の前方方向への速やかな移動をと円滑な関節運動の実現を目指した。

- ・立脚相後半の推進力生成のための足部板バネ機能、
- ・立脚・遊脚相の速やかな切り替えを促す膝関節屈曲動作、
- ・遊脚相における股関節・膝関節の二重振子運動の実現による効率のよい脚の振出しと床面とのクリアランス確保、
- ・カーボン素材への置換による装具重量の軽量化。

3. 研究の方法

装具開発は従来型長下肢装具 ARGO (Advanced reciprocating gait orthosis) をベースとして以下の改良を行うこととした。

- ・支柱および機構部素材の金属からカーボンへの置換による軽量化、
- ・下腿ソケット部素材のポリカーボネートからカーボンへの置換による足部弾性エネルギーの活用、
- ・動力をもちいない歩行遊脚相の膝関節屈曲・伸展動作の付与。

初年度終了時点ですべての機構を実装し

た一次プロトタイプ在完成と適合評価を終える計画とし、2年目には各要素の改良設計・製作後に製品仕様の二次プロトタイプの設計までを終え、一次プロトタイプ機は本装具の対象となる脊髄損傷者での試歩行を行うとともに、必要に応じて荷重応力試験機 (国立障害者リハビリテーションセンター福祉機器開発部が所有) による耐久試験を経て、研究期間終了時に製品レベルの性能をもった歩行装具を完成させることを目指して開発を進めた。

(1) 開発装具による歩行の特徴

歩行運動を実現するためのエナジェティクスは、上肢体幹を含む残存機能を駆使して行うものであり、「装着すれば誰でも歩ける」という類のロボットとは目的が大きく異なる。申請者はこれまで、延べ12名の脊髄完全損傷者の3か月以上の長下肢装具歩行を用いた歩行訓練に帯同し、装具歩行のスキル習得過程を観察してきた。自転車操作には基本的な身体機能とスキル獲得が必要であるのと同様に、円滑な装具歩行実現のためには、円滑な歩行動作実現のための患者自身の動作学習やバランス感覚などのスキル獲得が必須となる。とりわけ、歩行機能再建を目指した歩行リハビリテーションでは、残存機能の最大化と歩行運動出力の発現に貢献する神経システムを駆動することが必要となるため、本研究では、装具歩行に熟練した脊髄完全損傷者の歩行動作をベースとして円滑な歩行動作実現のために装具が備えるべき要件を整理し、開発装具の仕様を設定することとした。

(2) 仕様

従来装具では支柱および機構部の素材は金属が中心であったが、開発装具では可能な限りカーボン素材に置き換え、生体との接触部に関しては機能性と装着感の高いサポート型インターフェイスを実装する。カーボン素材は、軽量、高弾性という特質上、これまで自動車産業や航空宇宙産業を中心に様々な分野で応用されてきたが、今回の開発では他分野でのカーボン素材の実績を最大限に活かし、医療・リハビリ領域での応用事例として位置づける。

開発装具では「正常歩行の関節キネマティクス、時空間的特性の実現」を目標に掲げる。脊髄歩行中枢の活動を惹起する上では、歩行運動周期に同調した荷重情報や、股関節求心系を中心とした筋腱からの求心性感覚入力が重要である。加えて、従来装具歩行では、膝伸展位で固定した麻痺下肢を上肢一体幹の代償動作によって振り出す特性上、股関節の屈曲・伸展運動が1分あたり30周期と正常歩行と比してかなり遅くなる。開発装具は、脊髄歩行中枢の活動を惹起することを企図して、物理的な振動子引き込みの生じる運動周期(0.8Hz)に近づけることを仕様に加える。



図1 試作したプロトタイプ機

4. 研究成果

研究初年度に、図1に示すようなプロトタイプ試作を終え、実際に、対象となる脊髄完全損傷者（38歳男性、第12胸髄完全損傷、受傷後16年経過）による試歩行を行った。立位姿勢下にて、スプリングバネを用いた膝関節屈曲－伸展機構を作用させることで、スクワット様の屈伸運動が可能であった。また、歩行実施時には、立脚期における荷重支持の耐久性には問題がない一方で、立脚初期に膝機構に伸展モーメントが適切に懸からない場合に膝関節が屈曲してしまう問題（いわゆる膝折れ）が生じた。この点については改良仕様立案の資料とし、図2に示すような膝関節機構の2次試作を進め、改正後に装具に実装することでテストを実施した結果、良好な結果を得た。

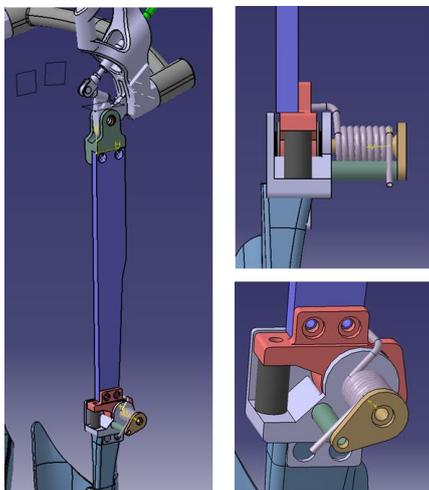


図2 改良試作後の膝関節機構



図2 製品仕様のデザインモデル

なお、膝屈曲－伸展機構を機能させずに、従来装具と同様の膝伸展位固定での歩行も実施したところ、従来装具と遜色ない歩行動作が実現可能であり、対象者より、立脚後期に床を蹴るような感じが得られる、さらには歩行中の左右のブレが少ない、という感想を得た。これらの変化は、足部のカーボン素材による立脚後期の地面反力、大腿支柱部の剛性向上によるものと考えられた。プロトタイプ機にてARGOの金属部、プラスチック部のカーボン化を図ることで、軽量化と機能性の向上を実現することができた。この成果を受け、外観・機構の修正設計を反映させた製品仕様の設計を行い、図2のような新たなデザインモデルを製作、研究年度終了時点で実寸モックアップの製作までを終えた。なお、このデザインモデルは、複合素材の国際展示会であるJEC worldに出展し、JEC innovation award (category: Better living)を受賞した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① 河島則天、一寸木洋平、緒方徹、中澤公孝、慢性期脊髄損傷者の歩行機能回復に向けた新しいリハビリテーションストラテジー、脊椎脊髄ジャーナル29(4)、2016、469-474

〔学会発表〕（計1件）

- ① 河島則天 歩行運動出力の最適化－脊髄CPGの知見を臨床に活かす－、第12回神経理学療法学会、ラガール福岡（福岡県・福岡市）2016年11月28日

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕

- 第42回国際福祉機器展(2015年10月7-9日、東京)
- 超福祉展におけるブース展示(2016年11月8-14日、東京)
- JEC innovation Award(Category: Better living) 受賞(2016年3月フランス)
- デザイン誌「AXIS」vol.181(2016年5月号)に紹介記事掲載
- 日経デザイン(2016年8月号)に開発経緯に関するインタビュー記事掲載

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河島則天 (KAWASHIMA NORITAKA)
国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所・運動機能系障害研究部・研究室長
研究者番号：30392195