

## 膝関節を屈曲可能とした歩行補助装具による脊髄損傷者の歩行キネマティクス

Kinematics of orthotic gait with or without knee flexion-extension movement in paraplegic patients

ライフサイエンス専攻 矢野裕美 Hiromi YANO

### 1. 背景

脊髄損傷者の多くは移動手段として車椅子を使用する。しかし一方で、立位歩行からの長期隔離は身体機能に様々な負の適応をもたらすため、装具等を用いた歩行訓練の重要性は極めて高いと考えられる。

下肢装具を用いた脊髄損傷者の歩行動作は健常者のそれとは異なり、運動周期全般にわたって膝関節が伸展位で固定される。この点は歩行遊脚期における下肢振り出しの際の床面とのクリアランス確保を困難にする上、装具歩行の運動効率を悪化させる可能性がある。そこで本研究では、対麻痺者用の交互歩行装具 (Advanced Reciprocating Gait Orthosis, 以下 ARGO) に改良を加え、歩行遊脚期に膝関節屈曲・伸展動作を実現できる動力装置を考案・試作した。

### 2. 目的

本研究では、交互歩行装具 ARGO の膝関節・股関節部にアクチュエータを装備することにより歩行遊脚期に膝関節の屈曲・伸展運動を実現できる動力装置を開発し、トレッドミル上での歩行動作の評価を行うことを目的とした。

### 3. 装置の概要

膝関節屈曲・伸展動作は ARGO の膝ジョイント部 (両脚) にメカシリンダ (推力 100N ロッドタイプメカシリンダ, Dyadic Systems 社製, 1.1kg, 最大ストローク 100mm) を装備することによって実現した。

さらに左右の股関節を連結するヒップドライビングケーブルの末端 (片側のみ) に別途メカシリンダ (推力 100N ロッドタイプメカシリンダ, Dyadic Systems 社製, 1.0kg, 最大ストローク 50mm) を取り付けることにより股関節の動力化・動作制御を実現し、膝関節動作との連動が可能な機構を考案した。この股関節動作の動力化は、麻痺脚の振り出しに必要な上肢・体幹の代償動作による身体的労力を軽減させ、歩行運動の効率化を実現できる効果も兼ね備える。

股関節動作と膝関節動作を連動させるために、シーケンスコントローラを用いて3つのアクチュエータの動作を制御し、対象者の歩行速度に合わせて動作位相・時間の設定を行った。

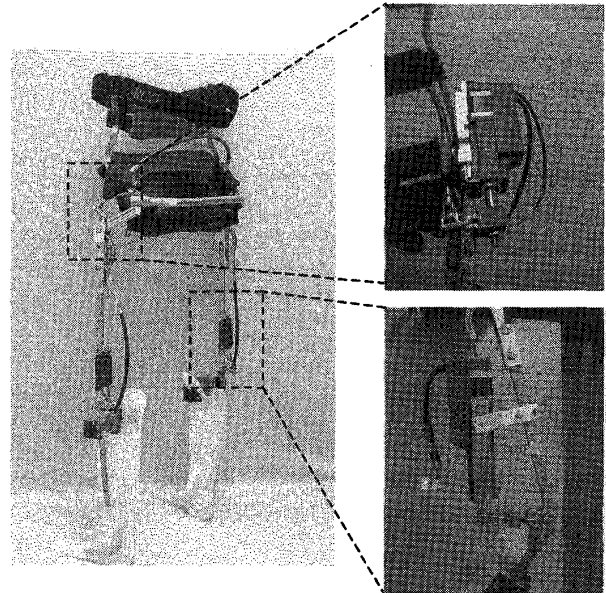


Fig.1 ARGO (left) and the assisting devices mounted on the hip (right, above) and knee joint (below)

### 4. 評価実験

#### (1) 被験者

下肢運動機能に完全麻痺を持つ脊髄損傷者 4 名 (男性, 第 5~第 12 胸髄完全損傷) を装具歩行計測の被験者とした。被験者はいずれも一般的なリハビリテーション過程を経た後、ARGO による歩行トレーニングを 3 ヶ月以上経験した者であった。実験時には既に装具歩行動作に習熟しており、安定した歩行動作が可能であった。また、参考として健常者 1 名 (男性) の歩行を計測した。

#### (2) 測定方法

被験者には、改良した ARGO を装着させ、トレッドミル上で歩行を行った。トレッドミルのベルト部に埋め込まれた 3 分力床反力計 (ADAL-3DC, Tech machine 製) から歩行中の床反力をサンプリング周波数 1 kHz にて記録した。トレッドミルは長さ 143cm × 幅 50cm の左右 2 本のベルト部から構成され、両脚の床反力を独立して計測可能である。また、被験者の身体に計 15 個の赤外線マーカを貼付し、CCD カメラによる画像計測 (VICON370, Oxford Metrics 製) により各マーカの 3 次元空間上の標点座標をサンプリング周波数 200Hz で取得した。実験のイメージ図を Fig.2 に示す。

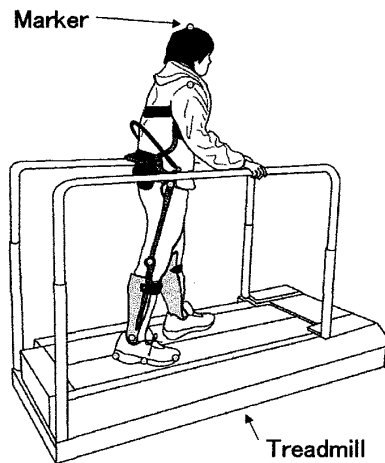


Fig.2 Schematic diagram of the gait experiment

(3) 測定条件

予め被験者の快適歩行速度を基準にトレッドミルの速度を決定した。各被験者において、ARGOに取り付けたメカシリンダを膝関節屈曲・伸展動作有り（以下 Improved ARGO）と無し（以下 Normal ARGO）の2種類の動作モードに設定し、歩行を行った。なお両歩行における股関節のメカシリンダの制御は同じとし、同一の歩行速度条件下での両装具による歩行動作を比較した。

5. 結果と考察

Fig.3に Normal ARGO, Improved ARGOそれぞれの遊脚期における右脚矢状面のスティックダイアグラムの典型例(Th12 完全損傷者)を示す。描画の開始点は toe-off 時, 終了点は heel-contact 時とした。Improved ARGO のスティックダイアグラムにおいては遊脚期初期から中期において膝屈曲・伸展動作が付与されていることが分かる。次にこのように膝関節の屈曲動作が加わることで,床面とのクリアランスに差が見られるかを比較した。その結果, Fig.4に示されるように膝を屈曲することで被験者A, B, C計3名の脊髄損傷者においてクリアランスが有意に増加することが分かった。

6. 結論

膝関節の伸展位での固定は脊髄損傷者と健常者での歩行動作の大きな違いであるが,改良型 ARGOによる歩行では,歩行遊脚期初期に膝関節の屈曲・伸展動作を実現することが可能であった。また,この屈曲動作を付与することで下肢振り出しの際に床面とのクリアランスを増加することができた。

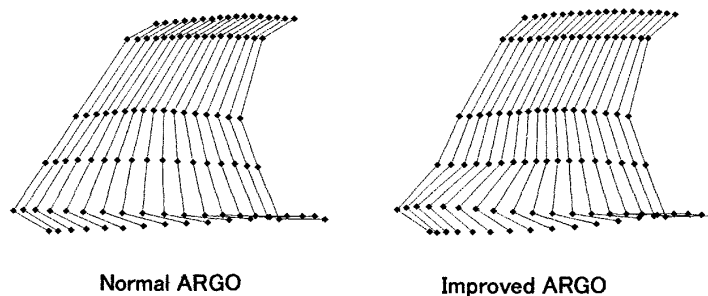


Fig.3 Stick diagrams during swing phase

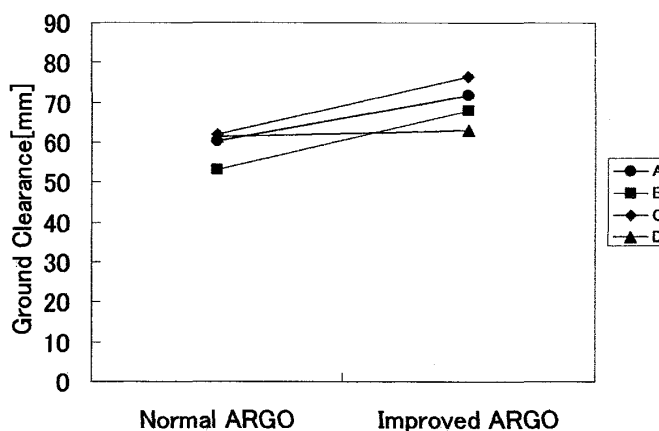


Fig.4 Change in the ground clearance

【参考文献】

- Greene PJ, Granat MH. The effects of knee and ankle flexion on ground clearance in paraplegic gait. *Clinical Biomechanics*, 15, 536-540, 2000.
- Wernig A, Muller S, Nanassy A, Cagol E. Laufband therapy based on rules of spinal locomotion is effective in spinal cord injured persons. *Eur J Neurosci*, 7, 823-9, 1995.
- 河島則天, 太田裕治, 谷崎雅志, 中澤公孝, 赤居正美, 脊髄損傷者の装具歩行における膝関節屈曲・伸展動作付与の試み, *日本義肢装具学会誌*, 19(3), 222-227, 2003.

【発表状況】

- 歩行リハビリテーション用訓練装置の開発現況, *生活工学研究*, 5(2), 266-269, 2003.
- 脊髄損傷者の歩行運動の損傷部位依存性, 第1回生活支援工学系学会連合大会予稿集, 60, 2003.
- 膝関節屈曲・伸展動作を実現する脊髄損傷者用歩行補助装具の開発 - 装置の概要とトレッドミル上での歩行による動作評価 -, 第2回生活支援工学系学会連合大会予稿集, 75-76, 2004.
- 中枢パターン発生器と対麻痺者の歩行回復可能性, *生活工学研究*, 6(1), 110-111, 2004.
- 歩行機能回復からみた脊髄損傷者に対する歩行訓練の意義, *生活工学研究*, 6(2), 206-207, 2004.
- 脊髄損傷とその治療・リハビリテーション, *生活工学研究*, 7(1), 2005.

(指導教官 太田裕治)