

膝関節屈曲伸展動作を可能とした歩行補助装具による歩行様筋活動

Muscular activity potential which aligned with the walk cycle by a device for the knee motion assistance during orthotic gait

ライフサイエンス専攻 山口裕子 Yuko YAMAGUCHI

1. はじめに

脊髄完全損傷者では上位からの随意性神経信号が遮断されるため、下肢に運動麻痺を生じ、多くは日常生活の殆どを車椅子上で座位で過ごす。長期の立位歩行からの離脱は筋萎縮、骨萎縮をはじめとする二次障害の危険性があるため、脊髄損傷後のリハビリテーションとして装具を用いた歩行訓練が良く行われる。立位歩行運動により、全身持久性の維持、筋・骨萎縮の防止、免疫の活性化、消化機能の改善などが期待されることから¹⁾、脊髄損傷後の体力・健康の維持に極めて重要であると言える。

装具歩行訓練を繰り返し行うことで麻痺下肢筋に歩行周期と同調した筋活動（以下、歩行様筋活動）が見られることがすでに報告されている。歩行様筋活動は歩行動作に伴う末梢からの感覚入力により脊髄感覚ニューロン活動が喚起されたものと考えられる。

2. 目的

我々は、歩行遊脚期に膝関節屈曲-伸展動作を可能とした対麻痺者用の交互歩行装具（改良型 ARG0: Advanced Reciprocating Gait Orthosis）を試作することで、麻痺下肢に末梢性感覚入力の変化を与えることを可能とした。本研究では、この装具を用いた際の下肢麻痺筋活動を測定し、歩行 kinematics の変化により脊髄損傷者の麻痺領域に認められる歩行様筋活動にいかなる変化を示すかを検討するとともに、その実現効果を麻痺領域の神経活動の変化の観点から検討することを目的とする。

3. 装置の概要

本研究で試作した動力装置は、ARGO の膝関節部にメカシリンダ（推力 100N, Dyadic Systems 社製, 1.1kg, 最大ストローク 100mm）を装備することにより、歩行遊脚期に膝関節屈曲-伸展動作を実現するものであった（Fig.1）。また、ARGO のレシプロ機構（ヒップドライブ機構）の末端部



Fig.1 The knee joint actuator

にもメカシリンダ（推力 100N, Dyadic Systems 社製, 1.0kg, 最大ストローク 50mm）を装備し、股関節・膝関節モータの回転運動を連携させることにより、両関節の動作位相・時間を制御可能な機構を考案した。以降、膝屈曲有の装具を改良型 ARG0 し、通常の装具を通常型 ARG0 と表記する。

4. 実験方法

下肢運動機能に完全麻痺を持つ胸髄完全損傷者5名（第5～12胸髄損傷）を対象とした。被検者は ARG0 を用いた3ヶ月以上にわたる歩行トレーニングを経ており、実験時には歩行時の動作はほぼ安定し、歩行周期と同調した歩行様筋活動も高い再現性を示した。

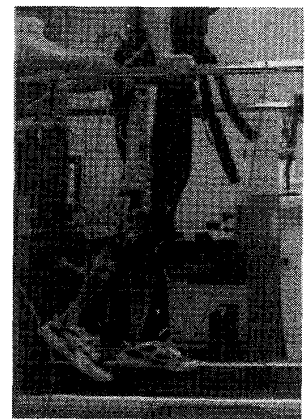


Fig.2 Experimental situation

被検者は、通常型 ARG0、改良型 ARG0 によるトレッドミル上での歩行を行った（Fig.2）。本研究では、予め被検者の快適歩行速度を基準に股関節のアクチュエータの動作間隔を決定し、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することにした。

両装具による歩行中の麻痺筋 EMG 活動を以下の筋より計測した。ヒラメ筋（SOL）、内側腓腹筋（MGAS）、前頸骨筋（TA）、大腿直筋（RF）、大腿二頭筋（BF）。筋活動データは生体アンプにて1000倍に増幅後、A/D 変換器を通して周波数 1 kHz にて記録した。同時に、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, Techmacine 製）から歩行中の床反力を、同時に被検者に計15個の反射式マーカを貼り付け、装具歩行をマーカを7台の CCD カメラで撮影し3次元座標化するシステム VICON から関節角度変位を計測した。サンプリング周波数は 400 Hz とした。また床反力計のサンプリング周波数は、1 kHz とした。

各筋から導出した筋電信号は整流・積分処理の後、遊脚期と立脚期それぞれの平均積分値を定量した。

5. 結果

関節角度、筋活動電位、床反力の10試行分の加算平均波形を算出した。改良型ARGOでは歩行遊脚期に膝関節屈曲伸張運動が実現され、この動作に伴って下肢の筋活動に変化を認めた。膝関節の動作を除いては、両装具による歩行中の股関節・足関節の動作、床反力には装具間に大きな差異は認められなかった。

Fig.3には被検者5名の歩行遊脚期、立脚期における各筋の積分値の平均値を、Fig.4には各筋の通常型ARGOによる筋活動を100%とした際の改良型ARGOによる筋活動の割合をそれぞれ示した。膝関節動作に伴う筋活動の変化は、必ずしも全ての被検者に共通の変化を認めなかったが、遊脚期における膝関節の屈曲伸張により直接筋長の変化がもたらされる大腿筋群、内側腓腹筋に変化を認める被検者が多かった。

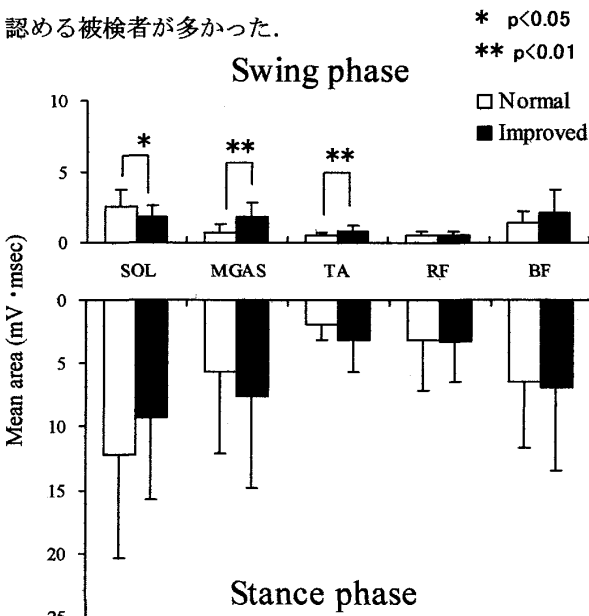


Fig.3 Comparison of the muscle activity between two types of orthosis in each lower limb muscle

6. 考察

本研究では、交互歩行装具 ARG0 の膝関節部にアクチュエータを搭載することで、通常の装具歩行動作では実現されない膝の屈曲・伸張動作を可能にし、実現された膝関節動作に伴って歩行様筋活動が変化するか否かを検討した。膝関節動作に伴う変化を認めた大腿直筋・腓腹筋はいずれも膝関節の動作に関与する筋であり、膝関節の動作に伴って筋長変化が生じるものと考えられる。したがって、本研究で認められた両装具間の筋活動の差異は装具歩行中の膝関節動作に伴って発現する末梢性神

経入力の変化によるものと考えられる。本研究の結果は、膝関節動作の実現が麻痺領域の神経活動を変化させることを示すものであった。

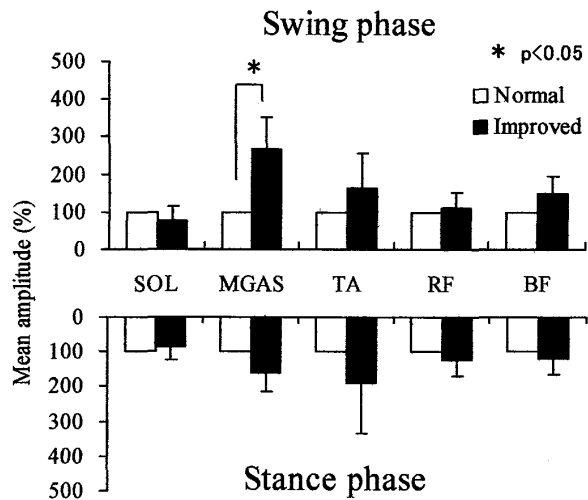


Fig.4 Comparison of the muscle activity between two types of orthosis in each lower limb muscle

7. 結論

両装具における麻痺下肢の歩行様筋活動の差異は、運動動作の変化に伴う末梢性感覚入力の変化に応じて、麻痺領域を支配する脊髄神経回路が可変的に応答することを示す結果であった。したがって、動力装置による膝関節動作の実現は、脊髄損傷者の麻痺領域の神経活動を賦活する方策となり得るものと考えられる。

【謝辞】

本研究にあたり御指導頂きました国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所中澤公孝先生、河島則天先生、ならびにご協力いただきました本学大学院矢野裕美修士、芝浦工業大学大学院田口大介修士に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) Kojima N., Nakazawa K., Yano H.: Effects of limb load -ing on the lower-limb electromyographic activity during orthotic locomotion in a paraplegic patient, *Neurosci Lett*, 274, 211-213, 1999
- 2) 河島則天ほか 脊髄損傷者の装具歩行における膝関節屈曲・伸張動作付与の試み *日本義肢装具学会誌* 19(3), 22-227, 2003.
- 3) 「脊髄損傷者の装具歩行時における上肢負荷」, 第1回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, 61-62, 2003.
- 4) 「姿勢と移動」, *生活工学研究*, 5(2), 270, 2003.
- 5) 「膝関節屈曲・伸張動作を実現する脊髄損傷者用歩行補助装具の開発」, 第2回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, 73-74, 2004.
- 6) 「歩行に関わる神経生理」, *生活工学研究*, 7(1), 2005.
- 7) 「健常者と脊髄損傷者における歩行様筋活動電位」, *生活工学研究*, 7(1), 2005.

(指導教官 太田裕治)