

## 足関節の受動運動を利用した車椅子型デバイスの開発と評価

Development of a Wheelchair-type Ankle Passive Motion Device: Preliminary Evaluation with SCI Patients

鈴木 里江 Rie SUZUKI

(お茶の水女子大学ライフサイエンス専攻)

### 1. 背景

脊髄損傷など下肢に運動機能障害を持つ場合、立位姿勢や二足歩行が困難となるため、移動手段として車椅子が選ばれることが多い。しかし、車椅子の恒常的な使用は、下肢の不働化を意味する。また、筋萎縮や関節拘縮、尖足を引き起こす。このような廃用症候群は、褥瘡や深部血栓症などの二次障害の原因ともなる難治性疾患である。またこれらはリハビリテーションの妨害となるため、予防が重要である。

廃用性変化や二次障害予防に最も有効な予防法は、受動ストレッチ運動などの関節運動の施行である。受動運動前後での足関節スティフネス(曲がりにくさ)の変化について、Zhangらは慢性期の脳卒中患者を対象に足関節トルクを計測している<sup>[1]</sup>。それによれば座位状態で足関節を30分間底背屈させたところ、運動前後で関節トルクが減少し、受動運動により関節拘縮の予防が示唆された。また最近の我々の研究では、脊髄損傷者の麻痺下肢に対する受動運動は、反射性筋活動を出現させるのみならず、筋酸素動態をも変化させることを確認している<sup>[2]</sup>。このように麻痺領域に対する受動運動は高いリハビリテーション効果を有すると考えられる。そこで我々は日常使用を目的とした足関節の受動運動装置を開発し、開発した装置による受動運動が運動麻痺を有する足関節に与える生理学的効果を検討した。

### 2. 車椅子型デバイスの開発

上記に基づき、以下の開発コンセプトを設定した。1) 在宅使用を前提に、装置の小型軽量化・操作の簡便化・低価格化を図る 2) 車椅子との親和性を高めることで運動を習慣化し、日常的リハビリテーションが簡単に実施可能な装置とする。

本研究ではこれらの点に配慮し、市販の車椅子のフットレスト部を動力化することで、簡便かつ日常的に足関節への受動運動が実施できるような装置を考案することとした。本装置の外観写真を図1上に示す。車椅子の座面下にアクチュエータを配置しフットレストを可動化する単純な機構とした。アクチュエータには直動型電動シリンダ(SCN5-010-050-S03, (株)Dyadic Systems)を使用した。電動シリンダと周辺機器の接続を図1下に示す。シリンダの動作制御は位置制御方式にて行った。作成した動作シーケンスはアクチュエータ内の不揮発メモリに転送可能であり、いったんメモリ内に書き込めばシ

ーケンスと切り離しても動作可能である。またフットレストの回転軸にポテンショメータを、フットレストの中心にロードセルを埋め込み、装置からの出力としてフットレスト回転角度と背屈時の筋・関節抵抗力が取得可能である。

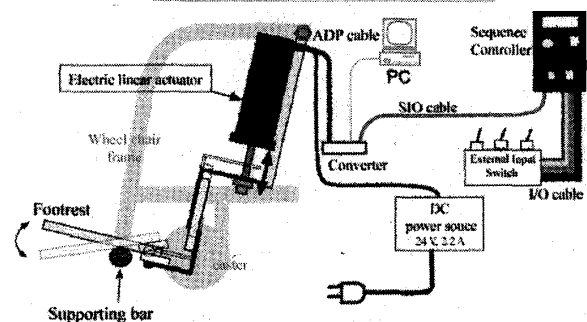
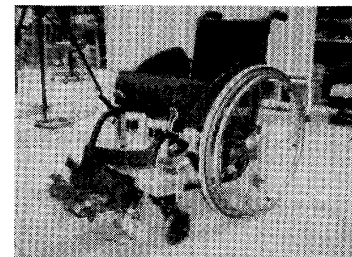


図1 開発した装置の外観写真(上)  
電動アクチュエータと周辺機器の接続概略図(下)

### 3. 評価実験

本研究では、脊髄損傷者を対象に開発したデバイスによる足関節受動運動を実施した。

対象は下肢の運動機能に完全麻痺を持つ脊髄損傷者12名(平均年齢 31.3±8.7 才, 損傷レベル Th5~L2, ASIA A or B)とした。また健常者6名(平均年齢 28.3±3.7 才)においても同等の計測を行った。全被験者にはあらかじめ実験内容に関する説明を行い、書面によるインフォームドコンセントを行った。被験者には、本装置を搭載した車椅子上で安静座位を保ち、実験中は姿勢を変えないよう指示を与えた。受動底背屈運動の動作範囲は、底屈側 12 deg, 背屈側 12 deg とした。運動方向は左右足逆位相, 受動運動時間は 10 分間とした。

実験の様子を図2に示す。受動運動中の、下腿深部ならびに皮膚表面の血流動態を記録した。被験者の右腓腹筋(Gas)ならびに前脛骨筋(TA)に、近赤外分光装置とレーザ血流計のプロブを貼付し、ヘモグロビ

ン濃度 (total Hb, oxy Hb, deoxy Hb の濃度変化), 皮膚血流量を記録した. 計測期間は運動開始時より終了 5 分後までとした. (計 15 分間)

受動運動前後には背屈時の抵抗力をロードセルにて計測し, 抵抗トルクを算出した. 測定方法としては可動域底屈 17 度・背屈 10 度とし, 計測前に足関節角度 0 度での抵抗力をゼロセットし, 3 deg/sec で背屈させた時の抵抗力を計測した. 試行は 5 回行った.

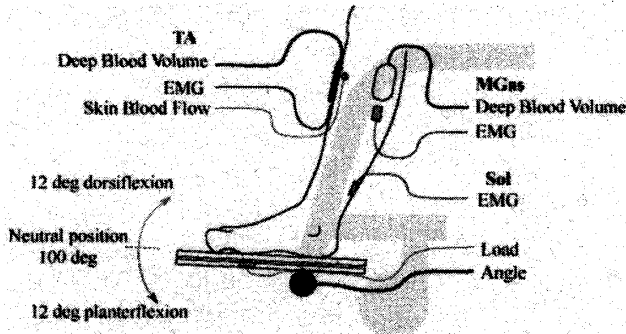


図 2 受動運動中の測定の様子

#### 4. 結果・考察

##### 4-1. 受動運動中の変化

受動運動に伴う循環動態に関しては, 血流増加を示す結果が得られた. 図 3 に皮膚血流と深部血流を 30 秒毎に平均した典型例 1 名を示す. 深部血液量は運動開始後, 徐々に増加し, 運動が終了しても上昇を続ける傾向を示した. 一方, 皮膚血流量は, 運動開始後ただちに上昇し, 運動終了と同時に安静値に元に戻る結果を示した. この傾向は全被験者に共通して認められ, 受動運動は低循環状態の継続による二次障害を防止する可能性が示唆された.

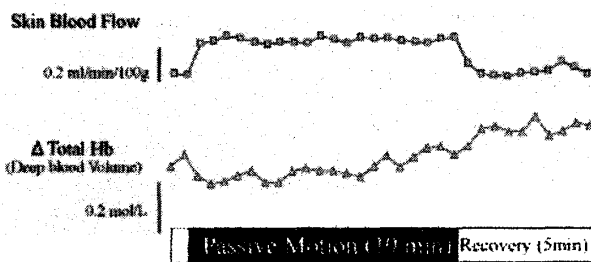


図 3 受動運動中の皮膚血流(上)と深部血流(下)変化(脊髄損傷者)

##### 4-2. 受動運動前後の抵抗トルク変化

図 4 に脊髄損傷者の足関節の抵抗トルク特性の典型例 1 名を示す. 横軸は足関節角度(正方向が背屈), 縦軸は抵抗トルク, 太線は運動前, 細線は運動後のトルクを示す. 受動運動後に, 抵抗トルクが減少したことがわかる. 次に, 最底屈位(-17 度), 中立位(0 度), 最背屈位

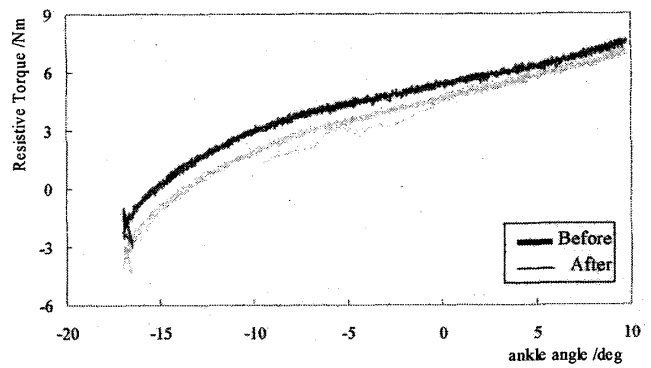


図 4 脊髄損傷者の足関節角度とトルクの関係 (典型例)

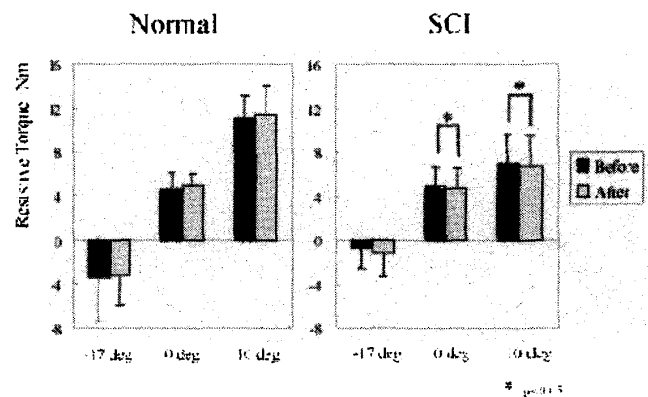


図 5 受動運動前後での抵抗トルク変化 (平均)

(10 度)における抵抗トルク(5 試行の加算平均)を被験者グループごとに平均した結果を図 5 に示す. 健常者はいずれも運動前後で変化はなかったが, 脊髄損傷者は中立位と背屈位で有意に抵抗トルクが減少した. 脊髄損傷者の下肢は不活動であるため, 10 分の受動運動でも足関節の剛性を緩和し得たと考えられる.

#### 5. まとめ

本研究では, 車椅子搭載可能な受動運動装置を開発し, 脊髄損傷者・健常者を対象に評価実験を行った. 具体的には以下の結果を得た. 1) 市販の車椅子のフットレスト部を可動化し, 小型簡便な装置を実現した. 2) 脊髄損傷者による評価実験を行い, 関節拘縮や痙性麻痺の有無に関わらず足関節受動運動が施行可能であることを確認した. 3) 10 分間の足関節への受動運動は, 低循環状態の改善, 麻痺関節の剛性緩和を示唆した. 今後の課題として, 装置の操作性の向上, 改良と共に, 本装置を用いた足関節へのケアを中長期的に実施した際の効果の定量的把握が挙げられる.

#### 参考文献

[1] Zhang LQ et al., *Trans Neural Syst Rehabil Eng*, Sep.10(3), 146-157, 2002.

[2] Kawashima N et al., *Med Sci Sports Exerc*, 37(6), 915-921, 2005.

(担当教員: 太田裕治)