

1212 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

招 瑞嘉・お茶の水女子大学大学院
Ruijia Zhao, Ochanomizu University

齋藤 倫子・お茶の水女子大学大学院
Michiko Saito, Ochanomizu University

鈴木 里江・TOTO 株式会社
Rie Suzuki, TOTO Ltd.

太田 裕治・お茶の水女子大学大学院
Yuji Ohta, Ochanomizu University

大塚 博・新潟医療福祉大学
Hiroshi Otsuka, Niigata University of Health
and Welfare

中澤 公孝・国立身体障害者リハビリ
テーションセンター研究所
Kimitaka Nakazawa, National Rehabilitation
Center for Persons with Disabilities

河島 則天・トロントリハビリ
テーション研究所
Noritaka Kawashima,
Toronto Rehabilitation Institute

Key Words: Home-based Rehabilitation, Passive Motion, Wheelchair, Ankle Joint, Secondary Diseases

論文要旨

本研究で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た。とくに日常使用が可能なるよう、小型かつ簡便な装置開発を目指した。開発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証するため、脊髄損傷者ならびに健常者を対象とした評価実験を行った。その結果、関節拘縮や痙攣性麻痺の有無に関わらず足関節受動運動が安全に施行可能であることを確認した。さらに装置の生理学的効果に関しても検討を行い有効性を確認した。今後は、装置の操作性の向上や改良と共に、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を行う。

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第一選択となる。しかし、車椅子を恒常的に使用することは、同時に下肢の不働化を意味し、筋萎縮や関節拘縮、さらには尖足発生の要因となる。これら廃用症候群は、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。さらに、これらはリハビリテーションの妨害ともなるため、予防が重要となる。

廃用性変化や二次障害の予防にもっとも有効な方法は、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。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有意に減少し、受動運動により関節拘縮の予防が可能であることが示唆されている。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。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. 車椅子型受動運動デバイスの開発

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諸点に配慮し、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。図に示すように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サと切り離しても動作可能である。またフットレスト回転軸にポテンショメータを、フットレスト中心にロードセルを埋め込むことで、装置からの出力としてフットレスト回転角度ならびに背屈時の筋・関節抵抗力を取得可能とした。

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とした。また健常者に対しても同様の計測を行った。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．受動運動中の生理量計測の様子を図 2 に示す．

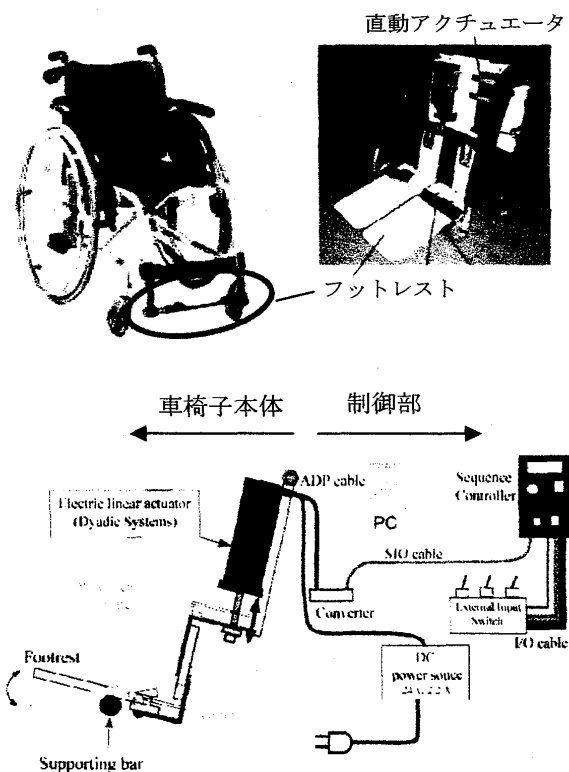


図 1 開発した装置の外観写真 (上)
電動アクチュエータの制御回路 (下)

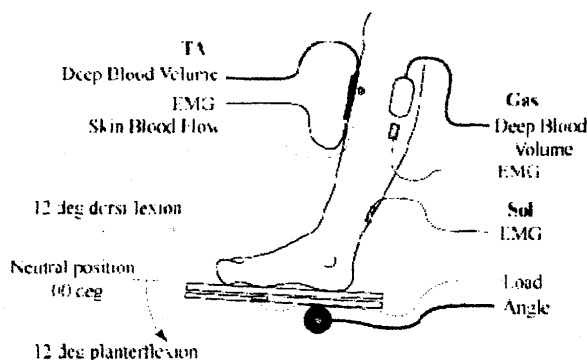


図 2 受動運動中の生理量計測

4. 結果・考察

脊髄損傷者を対象とした実験を通じ，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．すなわち，皮膚血流と深部血流を 30 秒毎に平均計測した結果，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．一方，足関節の抵抗トルク特性に関しては，受動運動後に抵抗トルクが減少することが確認できた．すなわち，最

底屈位(-17 deg)，中立位(0 deg)，最背屈位(10 deg)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，健康者群ではいずれも運動前後で変化が見られなかったのに対し，脊髄損傷者群では中立位ならびに背屈位において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．

本装置を在宅環境にて利用する際の安全性に関しては，受動運動の実施に際してはあらかじめフットレストが与える受動運動動作に無理がないことを手によって確認した上で行うこと，また，フットレストの回転可動範囲は電動シリンダのストロークにより機構的に制限されており回転角度換算で+19~-17 deg を超えるものではないこと，さらには，本アクチュエータの最大押し引き力は 100 N 程度であり，痙性麻痺の発現による負荷のため回転動作が停止してしまう程度のものであること，などの点から一定の基準を満たすものと考えられる．従って，専門職が常駐し常時管理することができない在宅利用状況下にあっても，本デバイス程度の仕様であれば特段の問題は生じないと考えられるが，今後さらに，JIS や ISO 等の安全に関する基準を参照しつつ，停止動作によるアクチュエータ過熱防止対策，駆動トルク検知センサによる過負荷防止対策，可動部への挟み込み防止策，定期メンテナンス態勢など，様々な角度から安全対策を図っていく必要がある．

5. まとめ

車椅子に搭載可能な受動運動リハビリテーション装置を開発し，脊髄損傷者・健康者を対象に基礎的評価実験を行った．実験を通じて以下の結果を得た．1) 市販の車椅子のフットレスト部を可動化することで小型簡便な装置を実現し得た．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安全に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，低循環状態の改善ならびに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.* Ned Sci Sports Exerc., 37(6), 915-921, 2005.