

麻痺性尖足に対する背屈支援 RT の臨床評価

Clinical evaluation of dorsiflexion support RT for paralytic equinus.

○ 保科智啓 (早大) 安田和弘 (早大) 鈴木慈 (早大) 大橋洋輝 (慈恵大) 岩田浩康 (早大)

Tomohiro HOSHINA, Waseda University
Kazuhiro YASUDA, Waseda University
Shigeru SUZUKI, Waseda University
Hiroki OHASHI, Jikei University School of Medicine
Hiroyasu IWATA, Waseda University

Abstract: We have developed “the dorsiflexion support RT” for paralytic equinus. It is composed of the rubber artificial muscle, and that assists dorsiflexion muscle in the walking. We carried out clinical trials of “the dorsiflexion support RT” in 5 patients with paralytic equinus. We conducted 10m walk test at the Pre-Post design for validating the adaptability and the immediate effect in the dorsiflexion support. As the evaluation index of the dorsiflexion, we set the two indexes; differences of the ankle joint angle in the dorsiflexion between toe off (pre-swing phase) and mid-swing phase because stumbling and falling are likely to occur in this period; the toe-clearance that is the angle between the floors with the sole in the initial-contact phase. The results showed that the ankle joint angle in dorsiflexion was increased by 7.5 degree and the toe-clearance was increased by 4.2 degree after the intervention.

Key Words: Ankle foot orthosis (AFO), Artificial muscle, Walk, Drop foot, Hemiplegia

1. 序論

脳血管疾患の後遺症である片麻痺や整形外科疾患等でみられる末梢神経障害では歩行の遊脚期に足関節が底屈状態を呈する麻痺性尖足(または、下垂足)となることがある。これにより、つまづきや転倒などが生じやすく、鶏歩やぶん回し等の異常歩行を誤学習する懸念が高まる。

尖足に対しては、一般的に短下肢装具が広く使用されているが、足関節を完全に固定する装具や任意の角度で制限する装具が多く、足関節の動きが大幅に制限される。それを克服する試みとして、バネやニュートン流体を使用することで足関節の動きを制御する装具が開発されている⁽¹⁾。しかし、背屈に対する支援力の限界により使用対象者が限られることやアクチュエータの大きさ及び重量が歩行へ影響を及ぼすなどの制約が存在する。

健常歩行の立脚期に身体は接地している足を中心に前方方向に回転しながら前進していく⁽²⁾。この時、回転中心を立脚初期のかかと、立脚中期の足関節、後期の前足部と順に移動する。これらは、ロッカーファンクションと呼ばれる(図1)。これにより健常歩行時の重心軌跡はサインカーブのような形となり、重心を利用した効率的な歩行が可能となるといわれている⁽³⁾。片麻痺者の歩行においては、この立脚期のロッカーファンクションが失われていることが多い。また、片麻痺者の短下肢装具において、かかとロッカーを支援することが重要であり、かかとロッカーを補助することで立脚期全体の筋活動が改善したという報告もある⁽⁴⁾。

そこで、筆者らは遊脚期における高い背屈量及び立脚期のロッカーファンクションの支援を可能とする McKibben型人工筋肉ゴムチューブを使用した背屈支援 RT を開発した⁽⁵⁾。(図2)

本稿では、背屈支援 RT を用い脳卒中患者 5 名において臨床試験を行い、患者への背屈支援の適応および、その即時効果について検証したので報告する。

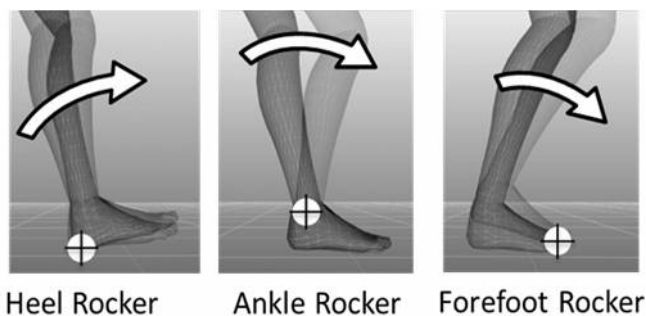


Fig 1 Rocker function

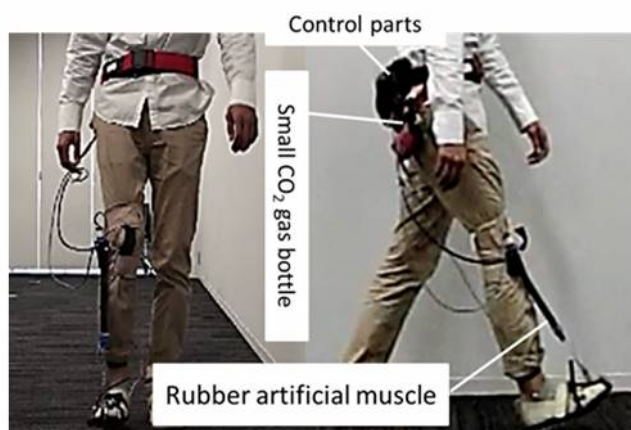


Fig 2 Dorsiflexion support RT

2. 方法

対象者は脳卒中患者 5 名(年齢 74.4 ± 7.4 歳, Brunnstrom stage: IV~V, 発症後 18.4 ± 7.7 日後)であった。被験者には書面にて研究内容の説明を行い、研究参加前に紙面にて同意を得た。また、本臨床試験の手順は早稲田大学倫理審査委員会より承認を得たうえで実施した(承認番号 2013-220)。

10m の歩行を基本課題とし、Pre-Post デザインでの試験を行った(図3)。その際、各試行に対して患者が疲れを示さないように 3~5 分程度休憩を設けた。進行方向に対する

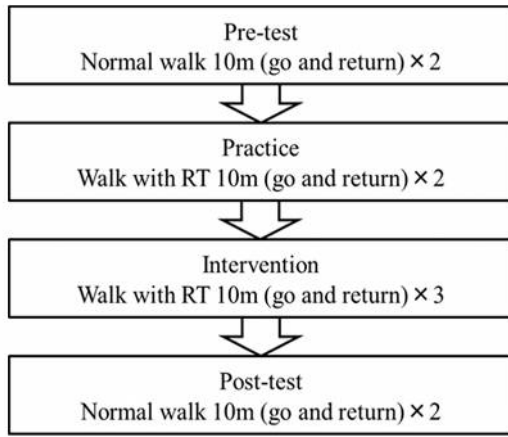


Fig 3 Test flow

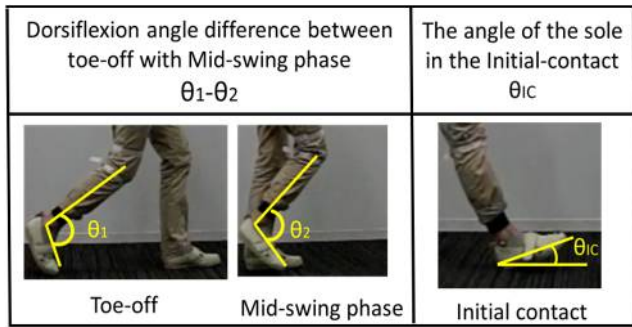


Fig 4 Evaluation indexes

矢状面から見て、膝関節中心、足関節中心(外果点)、つま先(足中指上部)に直径 14mm のポイントマーカーを貼り、各条件において、矢状面からの足関節角度を通常の 10 倍のフレーム数を撮影できるハイスピードカメラ(CASIO EXILIM PRO EX-F1BK, 300fps)を用いて撮影をした。背屈支援 RT の有効性検証のために遊脚期に十分な背屈がなされているかをハイスピードカメラで撮影した映像に対して、PC 上でポイントマーカーがなす角度を画像により解析した。つま先離地(遊脚前期)から遊脚中期の期間の角度差($\theta_1 - \theta_2$)を背屈角度差(図 4 左)とし、初期接地時の床面と足底がなす角をトゥクリアランス(θ_{IC}) (図 4 右)とした。介入前、介入中、介入後の 3 群を独立変数として、背屈角度差とトゥクリアランスの 2 つを従属変数とし、一次元配置分散分析(有意水準 5%)により統計解析を行った。そして、有意差が確認できた場合、Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った。

3. 結果

背屈角度差($\theta_1 - \theta_2$)の平均値は介入前の角度差は約 -0.9 度、介入中の角度差は約 8.2 度、介入後の角度差は約 6.6 度であり、標準誤差はそれぞれ 0.7, 0.6, 0.5 となった。介入前-介入中、介入前-介入後の群間において $p < 0.01$ の有意差が確認され、介入中-介入後の群間においては有意に差がないことが確認された(図 5)。

トゥクリアランス(θ_{IC})の平均値は介入前の角度は約 7.9 度、介入中の角度は約 12.5 度、介入後の角度は約 12.1 度であり、標準誤差はそれぞれ 0.5, 0.8, 0.7 となった。介入前-介入中、介入前-介入後の群間において $p < 0.01$ の有意差が確認され、介入中-介入後の群間においては有意に差がないことが確認された(図 6)。

5 名すべての被験者において、介入前では遊脚期に背屈が低減しており、背屈角度差がほとんど確認されなかった

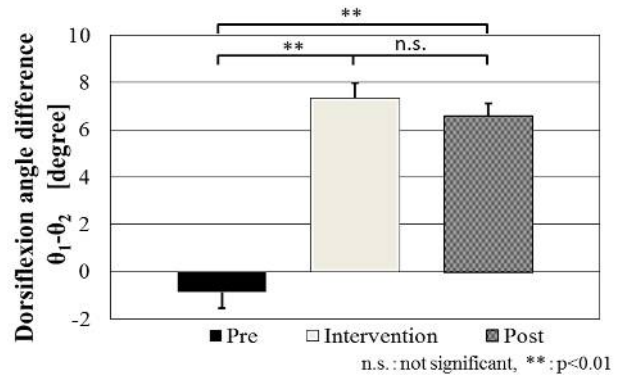


Fig 5 Dorsiflexion angle difference between toe-off with Mid-swing phase

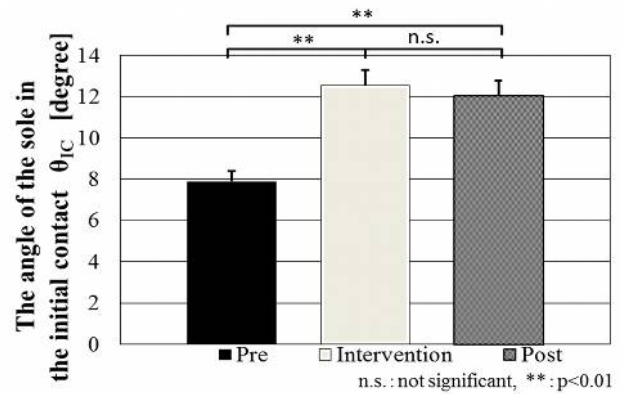


Fig 6 The angle of the sole in the Initial-contact

が、背屈支援 RT の装着により遊脚期において背屈角度の上昇を認め、角度差においても介入前と比較して介入中は背屈方向に約 9.1 度角度が増加した。さらに、トゥクリアランスにおいても、介入前に比べ介入中は約 4.6 度の増加が確認できた。これらより、患者において背屈支援 RT の遊脚期における支援が可能であることが確認された。

4. 考察

背屈角度差($\theta_1 - \theta_2$)及びトゥクリアランス(θ_{IC})について、介入前と比べて介入中の角度増加が確認された。この理由として背屈支援 RT が、つま先離地から遊脚中期の期間に足関節の背屈支援を行い、足関節の背屈を維持した状態で踵接地を迎えることで床との高いクリアランスの確保をしたためと推察される。また、着目すべき点として、介入後も背屈支援 RT を外した状況でも、背屈角度差($\theta_1 - \theta_2$)及びトゥクリアランス(θ_{IC})において角度増加を維持できた。本研究からは明確な機序は明らかにできないが、上行システムである背側脊髄小脳路からの信号は歩行中に小脳の室頂核近傍へ上行し、タイミングや歩幅を調整する⁶⁾ことが分かっている。背屈支援 RT による高背屈運動が繰り返し反復されたことで、背側脊髄小脳路への固有感覚フィードバックが増加し、結果として短期的な運動指令の適正化につながったのかもしれない。

本システムの制約として、人工筋肉の収縮・伸長の制御を一定としていたため、歩行中のケイデンス(strides/min)変化への対応が十分に支援されておらず、特に、停止~定常歩行、定常歩行~停止のようなダイナミックなケイデンス変化への対応が不十分であることが観察できた。そのため、今後はケイデンスへの対応可能な機能の付加を検討する必要がある。

5. 結論

人工筋肉を使用した背屈支援 RT を用い、脳卒中患者 5 名に対して、患者における背屈支援 RT の適応および即時効果の検証を行った。その結果、患者においても立脚初期と遊脚期に高背屈量が確保され、さらに装具を外した直後にも効果が一時的に持続する即時効果が確認できた。

謝辞

本研究は科学研究費助成金、基盤研究 (B) の一環として実施されました。また、臨床試験に協力いただいた患者様、及び秋葉病院の皆様には謝意を表します。

参考文献

- (1) SHORTER, Kenneth Alex, et al, Technologies for powered ankle-foot orthotic systems: Possibilities and challenges, Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, vol. 18, no. 1, pp. 337-347, 2013,
- (2) Shorter, Kenneth A., et al, Experimental evaluation of a portable powered ankle-foot orthosis. In: Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE. IEEE, pp. 624-627, 2011
- (3) Perry Jacquelin, Burnfield Judith M, Basic functions, Gait analysis, Normal and pathological function, SLACK Incorporated, pp. 19-47, 1992
- (4) 山本澄子, 海老名政彦, 他: 短下肢装具の可撓性と初期角度が片麻痺者の歩行に及ぼす影響, バイオメカニズム. 1994;12:253-264
- (5) 保科智啓, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康, 高背屈性とロッカーファンクションを両立させた人工筋肉駆動型背屈支援RT, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 3P2-C03, 2014
- (6) 柳原大, 伊藤聡, 歩行運動の適応制御と小脳のシナプス可塑性. 「小脳」, 板倉徹, 前田敏博 (編), プレーン出版, pp. 57-69, 1999