

理学療法士が足底部への介入技能を再現する刺激装置の開発 —刺激力の再現と検証—

○陳 童（東京大学）， 菊地 謙（東京大学）， 濱田 裕幸（東京大学），
氷上 隆三（東京大学）， 山下 淳（東京大学）， 安 琪（東京大学）

Development of Stimulation Device Replicating Intervention Skills of Physical Therapist on Foot Sole -Reproduction and Verification of Stimulus Force-

○Tong CHEN , Ken KIKUCHI , Hiroyuki HAMADA , Ryuzo HIKAMI ,
Atsushi YAMASHITA , and Qi AN (UTokyo)

脳性麻痺児のリハビリテーション(リハビリ)は理学療法士による徒手療法が一般的に行われている。徒手療法は足底に刺激を加えることで筋肉の活動を高め、運動機能の改善を図ることを目的としている[1]。しかし、脳性麻痺児は持続的なリハビリ介入を必要とする一方で[2]、通院でしかリハビリを受けられないため、運動能力を改善する機会は限られている。この問題に対応するために、本研究では、運動障害を持つ脳性麻痺児が在宅でもリハビリを受け、運動能力を向上させられるように、在宅利用可能な刺激装置の開発を目的とする。

我々の研究グループでは、理学療法士の介入技能の計測を行い、足底部の中足骨や内側アーチを刺激していることやその際の力を明らかにしてきた[3]。さらに、この知見に基づいて在宅リハビリを可能にする刺激装置を開発した[4]。先行研究[4]では、空気圧で伸縮するジャバラにつけた突起によって足底部を刺激し、理学療法士が幼児に介入する際の力の最大値を再現することを試みた。しかし、この装置は刺激力の変化パターンやその周期といった時系列特性を考慮しておらず、理学療法士の介入技能を十分に再現できていない。また、装置による刺激力は目標値である理学療法士の刺激力より下回っていた。これらの問題に対し、本研究では空気圧アクチュエータより精密に制御可能な電動シリンダを用いて、刺激力の最大値だけでなく、時系列特性も考慮した理学療法士の介入技能の再現を行う。

理学療法士が幼児の足底部に対する介入技能の計測結果を図1に示す。足底部の中足骨や内側アーチに対する周期的な介入が確認された。本研究では刺激力の再現に当たり、1周期あたりの力の最大値や最小値を抽出した。さらに最小値～最大値の10%と90%の時間間隔を立ち上がり時間として抽出した。目標値として、中足骨に対する刺激力の最大値と最小値はそれぞれ18.4 N, 12.9 Nで、立ち上がり時間は0.50 sであった。内側アーチに対するものは20.3 N, 14.7 Nで、立ち上がり時間は0.46 sであった。これらの特徴をスプライン補間で作成した刺激力の目標値を図2に示す。

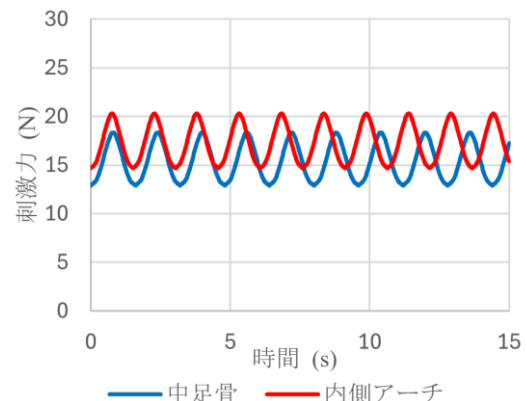
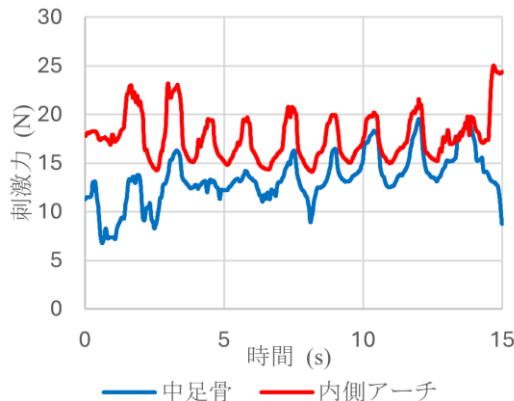


Figure 1: 理学療法士の介入技能計測の結果

Figure 2: 介入技能計測結果に基づく目標値

先行研究[3]より，理学療法士が足底部を刺激する際の最大力は30 N以下であるため，30 N以上の力を出力可能な電動シリンダ（smc社LEPY10K-50）と，その力を計測可能な1軸力覚センサ（テック技販社USL06-H5-50N-D-FZ）を選定した．足底部の硬さの影響を抑制するため，電動シリンダはPID制御とした．制御の目標値は0.01秒ごとに設定し，力センサは100 Hzの頻度で計測した．

健常児1名（6歳）を対象に中足骨と内側アーチを刺激し，理学療法士による介入の刺激力を再現可能か検証した．刺激装置上で立位を取り，足底部への刺激を行った時の力センサで得られた刺激力の平均値を算出した．なお本実験は東京大学の倫理審査委員会の承認を受け実施された（審査番号23-173）．

中足骨に対する刺激力は，最大値は理学療法士が 18.4 ± 1.2 N，装置が 18.5 ± 0.3 Nで，最小値は理学療法士が 12.9 ± 0.3 N，装置が 12.7 ± 0.1 Nと近い結果を得た．立ち上がり時間は理学療法士が 0.50 ± 0.25 sに対し，装置が 0.45 ± 0.07 sであった．内側アーチに対する刺激力は，最大値は理学療法士が 20.3 ± 0.7 N，装置が 20.5 ± 0.1 Nで，最小値は理学療法士が 14.7 ± 0.4 N，装置が 14.4 ± 0.1 Nと近い結果を得た．立ち上がり時間は理学療法士が 0.46 ± 0.16 sに対し，装置が 0.41 ± 0.08 sであった．以上の結果から，開発した刺激装置は理学療法士の介入技能の刺激力を精度よく再現できていることが示された．刺激力の最大値や最小値だけでなく，立ち上がり時間においても理学療法士との差異が小さいことから，刺激力の時系列特性を含めた再現性が確認された．図3に刺激力の測定値と目標値の比較を示す．装置による刺激力の測定値が目標値を精度高く再現できている．

本研究では，理学療法士の介入技能の計測結果をもとに，足底に対する刺激力の時系列特性を再現可能な電動シリンダを用いた刺激装置を開発した．実験結果より，装置が理学療法士と同等の刺激力を再現できることを確認した．今後は，脳性麻痺児を対象とした実験により，リハビリにおける有効性を検証し，さらなる改良を行う予定である．

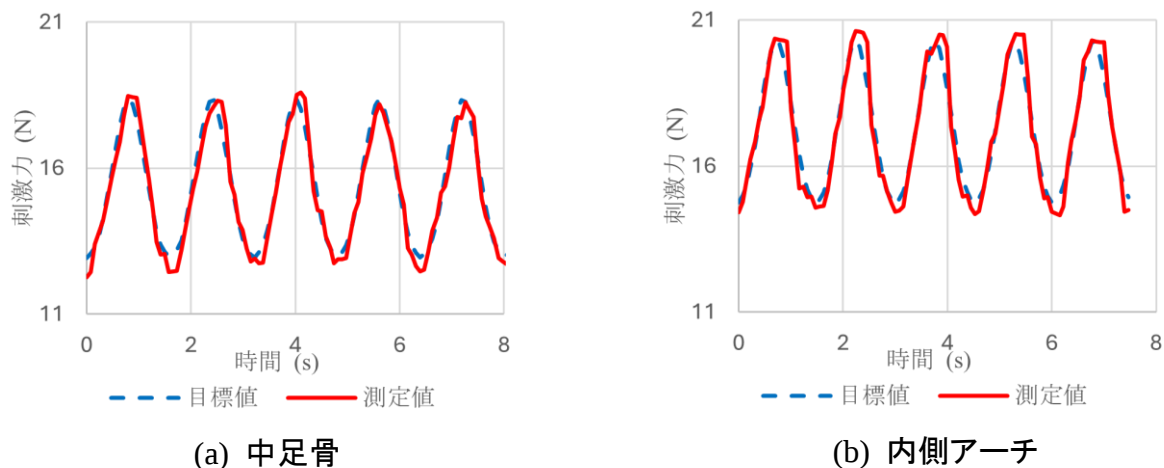


Figure 3: 刺激力の測定値と目標値の比較

謝辞

本研究は JST さきがけ JPMJPR21S1, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2108 の支援を受けて実施したものである．

参考文献

- [1] M. Hernandez-Reif, T. Field, S. Lergie, M. Diego, N. Manigat, J. Seoanes and J. Bornstein, "Cerebral palsy symptoms in children decreased following massage therapy", Early Child Development and Care, Vol. 175, No. 5, pp. 445-456, 2005.
- [2] S. Sonoda, E. Saitoh, S. Nagai, M. Kawakita, and Y. Kanada, "Full-time integrated treatment program, a new system for stroke rehabilitation in Japan: comparison with conventional rehabilitation", Vol. 83, No. 2, pp. 88-93, 2004.
- [3] 古賀洋平, 安琪, 倉爪亮, "幼児の足底部への理学療法士の介入技能の解析と立位姿勢中の足底圧中心・筋電位に与える影響の評価", LIFE2022 講演論文集, 1P1-A4, 2022.
- [4] Q. An, H. Hamada, S. Maruta, Y. Abe, K. Takada, K. Kikuchi, H. Yamakawa, H. Asama, and A. Yamashita, "Pneumatic plantar stimulation device replicating manual therapy improves lateral stability in standing posture", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 36, No. 4, pp. 813-822, 2024.