

脳卒中患者が座位で安全に歩行トレーニングを行える 腕振りリズムアシストロボット

東京工業大学 情報理工学院
特任准教授 緒方大樹

研究の背景と目的

現在、多くの歩行トレーニングロボットが市販されている。これらの多くは歩行中の脚の持ち上げを支援するパワーアシスト型ロボットである。これらの多くは歩行改善効果が報告されており、様々な歩行障害を抱える人々の歩行トレーニングへの適応が期待されている。しかし、これらのロボットの運用現場では転倒リスク回避のため、安全要員の配置や安全装置の併用など運用コスト増大を招いている。この問題は、ロボットの社会実装を妨げる一つの要因と考えられる。

一方で、我々は歩行訓練には歩行パターン（歩行リズム）の回復が重要と考え、パワーアシストではなく歩行リズムを支援するウェアラブルロボット、WALK-MATE ROBOT (WMR) を開発してきた（図1左）。このロボットは装着者の腕に適切なリズムを体性感覚刺激で提示することで、歩行中の腕振りリズムを改善する。そして、歩行時の上下肢連携により、脚振り（歩行）リズムを安定化させ、歩行パフォーマンスを向上させる。実際にこれまで、健常高齢者、パーキンソン病や脳卒中患者の歩行パフォーマンス改善効果を得てきた。

本ロボットは腕振りアシストを行うものなので、座位で安全に使用できる可能性がある（図1右）。つまり、座位にてWMRを用いて腕振りリズムをトレーニングし、その後のロボットを脱いだ歩行において、上下肢連携を介して歩行が改善すると考えた。これにより、これまでになかった安全かつ現場の運用コストが小さいロボットを用いた歩行トレーニングを実現できる。

この座位におけるWMRを用いた歩行トレーニングは、歩行中の腕と脚の振りのリズムを調整するCentral Pattern Generator (CPG) という脊椎中の神経ネットワークを考慮したものである。CPGには上肢CPGと下肢CPGが存在し、上肢CPGの適正化は下肢CPGの適正化につながる。しかしながら、座位と歩行中では人の腕の振り方が異なるため、効果的な座位でのトレーニングのために、座位での腕振りに適したアシストができるように再開発をする必要がある。また、脳卒中患者などの歩行障害においては歩行に大きな左右差が見られることから、それに対応する必要もあった。そこで本研究では脳卒中患者を対象とした座位での腕振りリズムトレーニング用ロボットを開発し、その効果を検証することを目的とした。

脳卒中患者のWALK-MATE ROBOTを用いた座位での歩行トレーニング



図1 腕振りリズムアシストロボット WALK-MATE ROBOT とロボットを用いた座位での歩行トレーニングの概要。ロボットはエンコーダによって人の腕振り角度を計測することで歩行リズムを推定する。その推定した歩行リズムを用いてロボットは WALK-MATE MODEL アルゴリズムを用いて同調リズムを生成する。そのリズムに基づきロボットは体性感覚刺激提示時刻を決定する。

研究の成果

実際に、座位においても人の腕振りリズムに同期し、かつ左右の腕振りの非対称性に合わせてアシスト力を変更できるアルゴリズムを開発し、WMR に実装した。加えて、ロボットが適切に動作し、歩行を改善できることを確認するための実験を実施した。まず、東京工業大学にて高齢者を対象として実験を行った。1 分間×3 回の座位トレーニングを行い、トレーニング前後の結果を比較した (N=20)。歩行の改善指標を得るために、我々が開発してきたウェアラブル歩行分析計 WM GAITCHECKER を用いて歩行計測を行った(図1 参照)。これは小型慣性センサを足首および腰に装着することで、歩行計測ができるシステムである。結果、座位にて腕振りをしている時にロボットが適切に同期して上腕にリズム刺激を提示し、その後の歩行が改善することを確認した。具体的には、ストライド長 (1 歩で進む距離) とストライド速度が増大することが示された。

加えて、北原リハビリテーション病院にて脳卒中患者を対象とした実験を実施した。1 分間×2 回の WMR を用いた座位でのトレーニングを 5 日間継続して行った (N=6)。その結果の例を図2 に示す。1 歩行サイクルに対して遊脚期が占める割合の左右非対称性が改善することが示された (図2 A)。加えて、ストライド長とストライド速度が 5 日間かけて患側、反対側共に上昇することが認められた。以上の結果は、WMR を用いた座位での腕振りリズム

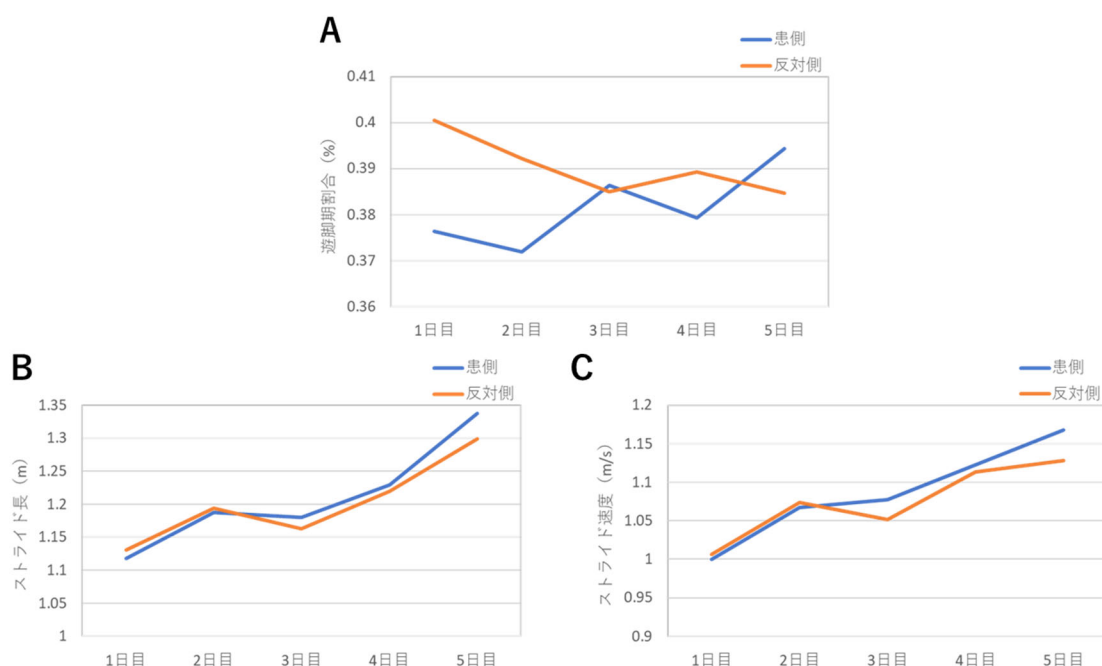


図 2 WMR を用いて座位での腕振りリズムトレーニングを行った結果の例。A) 遊脚期割合の 5 日間のトレーニング結果。初日には遊脚期割合に患側と反対側とで差異が見られるが、3 日目から差異が減少している。B、C) ストライド長とストライド速度の 5 日間のトレーニング結果。5 日間のトレーニングによりストライド長とストライド速度の両方が増加しており、歩行パフォーマンスが改善している様子が伺える。

ムトレーニングが、その後の脳卒中患者の歩行を改善することを示している。

学会発表

- 1) 緒方大樹, 温博明, Ye Ruqing, 三宅美博. 座位における腕振りリズム支援ロボットを用いた歩行トレーニング. 第 15 回日本ニューロリハビリテーション学会学術集会抄録集. P. 98, 佐賀, 2024

謝辞

本研究の実施に際し、一般社団法人日本産業科学研究所から研究資金を助成いただきましたことに心より御礼申し上げます。本助成金によって、ロボットを用いた安全かつ運用コストの低い歩行トレーニングの確立について研究を進めることができました。この成果を実用化と社会実装につなげるよう邁進してまいります。