

専攻主任



## 学位論文審査結果の要旨

博士(工学) 申請者 春名 弘一

### 審査委員

主査 木村主幸 教授

副査 有澤準二 教授

副査 野坂利也 教授

### 脳卒中片麻痺者における底屈制動短下肢装具使用時の運動制御変化に関する研究

本論文は、片麻痺者に対してロッカーファンクションを補助する特徴を持つ、底屈制動短下肢装具を使用した際の運動制御変化を明らかにし、効果的な装具療法を示すことを目的としている。

我が国の脳卒中の総患者数は約 134 万人と推定され、脳卒中患者の多くは片麻痺の病態を生じる。片麻痺の病態はヒトとして最も重要な移動手段である歩行に障害をきたし、歩行障害に対しては、理学療法が中核の治療法に位置づけられている。しかし、理学療法が施行されても運動麻痺は不可逆的であるため、常に非麻痺側下肢の代償に基づく歩行パターンが完成する。すなわち、片麻痺者は身体状況の変化に対応して運動戦略を変化させており、理学療法アプローチとしては、運動麻痺の回復を促す機能訓練が重要であることは言うまでもないが、運動麻痺の回復には限界があるために、非麻痺側下肢による代償的運動制御を含めて最適化を誘導していく必要がある。しかし、どこまで片麻痺者の代償的運動制御を許すのが妥当であるか、実際にどのような介入を行えば最適な状態に近づくかという問題は未だ解決していないのが現状である。

片麻痺者の歩行障害への理学療法アプローチとしては、麻痺側機能に対応して運動制御を柔軟に変化させることが望まれる。一方、下肢装具を使用して失われた機能を補う補完的アプローチも選択肢となる。片麻痺者の歩行障害の特徴は歩行速度低下をはじめ、歩行の耐久性低下、安定性の欠如など様々な問題があり、その背景には身体合成重心の力学的エネルギー変換効率の低下がある。歩行は本来、非常に力学的エネルギー変換効率の高い動作であり、身体合成重心の力学的エネルギー変換の観点から考えると、矢状面（真横からの観察）での身体合成重心の軌跡は振り子を逆さにした運動に似ており、倒立振り子モデルと呼ばれ広く認識されている。倒立振り子モデルのパラダイムは踵接地時に進行方向への運動エネルギーが最大になり、立脚期前半までの間に運動エネルギーは徐々に失われ、身体合成重心が上昇することにより位置エネルギーに変換される。立脚期の中間地点で位置エネルギーは頂点に達し、後半に入ると身体合成重心の低下に伴って、位置エネルギーが徐々に失われ、運動エネルギーに変換される。効率的な歩行を実現するためには、重力を上手に利用したエネルギー変換が重要であり、受動歩行ロボットがごく僅かなエネルギーで健常者に近いスムーズな歩行を再現することからも実証されている。

倒立振り子モデルを再現し、効率良いエネルギー変換を実現するためには Perry が提唱したロッカーファンクションが重要な役割を果たしている。ロッカーファンクションを補助する短下肢装具としては、底屈制動短下肢装具が挙げられる。底屈制動短下肢装具は直接的には荷重応答期のヒールロッカーを補助する役割を果たすが、継続的な使用によりアングルロッカーの改善も報告されている。

以上を踏まえ、本論文では、底屈制動短下肢装具を使用した際の歩行パフォーマンスと運動制御変化について多角的視点から縦断的に検討している。

本論文は全 6 章から構成されており、各章の内容は以下の通りとなっている。

第 1 章「序論」として、本研究の目的と論文の構成を述べている。

第 2 章「研究の背景」として、本研究分野の未解決問題の整理と本研究の新規性を明確にする目的で、関連する先行研究を紹介し、本研究で使用した臨床評価指標、歩行周期、装具の概要と底屈制動短下肢装具の位置付けについて説明している。

第 3 章「研究方法」として、歩行速度と運動制御の関係、底屈制動短下肢装具使用時の歩行パラメータ、底屈制動短下肢装具使用時の非麻痺側下肢の代償的筋活動と歩行周期の時間因子、底屈制動短下肢装具使用時の力学的エネルギーの 4 つの実験研究について、対象とした被験者、実験スケジュール、研究方法について説明し、本研究の倫理的配慮についても記載している。

第 4 章「結果」として、各実験研究の実験結果を示している。

第 5 章「考察」として、各実験結果からの考察を述べ、総合分析を示している。

底屈制動短下肢装具使用時の歩行パラメータについての研究は、1 次効果として、底屈制動短下肢装具が発生する背屈モーメントに起因して変化する歩行パラメータと、2 次効果と考えられるアングルロッカーの改善に起因し変化する歩行パラメータの発見に成功した。2 次効果の発見は新規性が高く、底屈制動短下肢装具の効果を十分に発揮するためには、底屈制動短下肢装具の使い方を学習する必要があることを示している。また、臨床的意義としては、より早期から 2 次効果を発揮させることを可能とするトレーニング方法の開発が命題であると提言している。

非麻痺側の代償的筋活動と歩行周期の時間因子についての研究は、底屈制動短下肢装具の使用によって、非麻痺側両脚支持期 2 における時間因子短縮と同時収縮指標減少という運動制御変化を見出している。この結果によって、底屈制動短下肢装具の効果である、麻痺側の滑らかな荷重の受け継ぎが相対する非麻痺側の運動制御を最適な状態に近づけることを明らかにした。また、最適な状態とは、パフォーマンスである歩行速度を低下させずに、代償的運動制御である非麻痺側の同時収縮を減少させることであると定義している。

底屈制動短下肢装具使用時の力学的エネルギーについての研究は、底屈制動短下肢装具が身体合成重心の力学的エネルギー変換効率の向上に寄与することを証明し、力学的エネルギー変換効率向上の要素として、荷重の受け継ぎに関わる非麻痺側立脚期の運動制御の習熟が必要であることを見出した。

総合分析として、底屈制動短下肢装具を効果的に使用するためには、非麻痺側立脚期で過剰な駆動力制御を行わせないことが必要であると結論付けた。

第 6 章「結論」として、本論文を総括し、本研究の成果と本研究の課題、今後の展望を述べている。

以上のように、本論文は底屈制動短下肢装具の効果と運動制御変化について詳細に分析し、トレーニング方法の一般化に繋がる貴重な成果を残した。本研究の成果は、研究の新規性に加えて、脳卒中に関わるリハビリテーション分野、リハビリテーション工学分野に対して大いに貢献する知見である。よって、申請者は博士（工学）の学位を授与される資格のあるものと認める。