

学位論文内容の要旨

北海道工業大学大学院工学研究科
応用電子工学専攻
博士後期課程
申請者氏名 春名 弘一

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

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。つまり、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解決であった。

このように、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が、一方では下肢装具使用し、失われた機能を補う補完的アプローチが存在する。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存在する。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、立脚相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が報告されている。

本研究では、ロッカーファンクションを補助する短下肢装具である、底屈制動短下肢装具を使用することにより、片麻痺者の歩行運動の本質である、運動制御の変化を明らかにすることを目的とした。

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た。

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た。

第3章「研究方法」として、本研究で行った、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触れた。

第4章「結果」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各研究の実験結果を示した。

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、今後の展望を述べた。

底屈制動短下肢装具使用時の運動制御変化として、本研究で明らかになった事項を後述する。1) 底屈制動短下肢装具の使用により、歩行パラメータが向上する。また、底屈制動短下肢装具適合初日と比較して、底屈制動短下肢装具の継続使用で効果が大きく、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。2) 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によって、相対する非麻痺側の運動制御が最適な状態に近づく。ここでいう最適な状態とは、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。3) 底屈制動短下肢装具の継続使用により、力学的エネルギー変換効率が向上する。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。4) 運動制御の変化は、底屈制動短下肢装具の特徴を活かすことにより変化する他の歩行パラメータとの関係があり、底屈制動短下肢装具適合直後よりも、一定期間経験することで大きく変化する事がわかった。

底屈制動短下肢装具は本邦でも非常に普及している短下肢装具でありながらも、底屈制動短下肢装具を使用したトレーニング方法は一般化されていないのが現状である。本研究で検討した、身体合成重心の力学的エネルギーでは、バイオメカニクスの観点からの運動制御はもとより、重力の効率利用といった歩行スキルを評価することが可能であった。この成果は、研究の新規性に重ねて、底屈制動短下肢装具を使用したトレーニング方法開発の一助となり得るという意味で臨床的意義が大きいと考える。本研究で得られた知見が、脳卒中患者の理学療法に応用され、歩行リハビリテーションの一助になれば幸いである。

今後の展望としては、歩行時の力学的エネルギーについて、実際の臨床場面であるリハビリテーション施設で計測可能な、臨床志向型力学的エネルギー変換効率評価システムの開発研究を計画している。本研究成果を発展させた、臨床志向型力学的エネルギー変換効率評価システムの開発研究により、重度の脳血管障害患者や高齢重複疾患患者などの低負荷トレーニングを設定せざるを得ない低歩行能力者に対して、重力の効率利用の観点からの歩行スキル評価が臨床場面で容易に可能となり、本邦のリハビリテーション医療が抱える障害の重度化問題に対して、有益な評価手段の一つになると考えている。