

2021 年度 博士論文（要約）



片麻痺患者の起立動作の解析とリハビリ
テーションにおける理学療法士の介入技能の解明

指導教員 浅間 一 教授

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

学生証番号 37-197033

湖上 碩樹

脳の一部に障害を受ける脳卒中を発症すると、後遺症として意識障害・感覚障害・運動障害など様々な後遺症が残る。運動障害の1つである片麻痺は障害を受けた脳と反対側の体が麻痺し、介護が必要となる場合がある。超高齢社会にある本邦では、脳卒中の後遺症に係る社会保障費が増大する懸念がある。

脳卒中により運動障害が残った片麻痺患者は理学療法士のリハビリテーション（以下リハビリ）を受け、運動機能が改善される。理学療法士は片麻痺患者の運動機能を回復させるリハビリを行うが、トレーニングの内容は理学療法士の個人差が大きく、理学療法士の知識や経験によって片麻痺患者の運動への介入が行われる。また、理学療法士の不足を補う手段として、リハビリのためのロボット技術や支援機器が開発されている。片麻痺患者の動作を支援するリハビリ機器においても、理学療法士のように患者の機能を回復させる介入を行うことが重要であるが、理学療法士の介入の技能が定量的に評価されていないという問題がある。よって、リハビリ支援機器の開発のために、暗黙知である理学療法士の技能の理解が重要である。そこで、本研究では理学療法士が片麻痺患者にどのように介入しているのかを調査する。理学療法士の技能を解析することで、介入を定量的に評価可能となる。

本研究では日常生活の起点として重要な起立動作に着目し、まず片麻痺患者がどのような起立動作を行うか調査する。片麻痺患者と健常者の起立の間で異なる部分を明らかにすることで、理学療法士の介入による健常者との差異の増減を評価可能となる。リハビリにおける起立の評価は回数に重点が置かれるが、どのような起立であったかや非麻痺肢を使用した代償的な動作ではないか、という動作の質で評価することが重要である。しかし、臨床で用いられる従来の運動機能の評価では動作は評価されない。また、機能的自立度評価法（Functional Independent Measure, 以下 FIM）のような日常生活動作（Activities of Daily Life, 以下 ADL）の能力の評価では、麻痺肢を使用したかどうかまでは評価されない。理学療法士による片麻痺患者の動作分析では ADL 能力や麻痺肢を使用したかどうかは評価されるが、理学療法士の知識や経験に依存する。そこで、本研究では発症3か月までの時点で片麻痺患者の動作の質から、回復の度合いを評価する。運動機能が回復するのは発症3か月までである、という先行研究から、退院時に運動機能が良好な群と非良好な群の間には発症3か月の時点ですでに起立動作に差があるのではないかと仮説を立てた。発症3か月までの起立動作を評価することで、片麻痺患者が退院までの ADL 能力の改善に影響する起立動作の特徴が分かる。判明した起立動作の特徴が回復の度合いの評価基準となり、回復のための介入戦略を提示可能となる。

リハビリ支援機器の開発のためには、患者の神経系の変化を考慮して行われる理学療法士の介入が片麻痺患者の運動にどのような影響を与えるのかを理解することが重要である。しかし、理学療法士が介入中の片麻痺患者の起立がどのように変化するのかは明らかになっていない。そこで、本研究では理学療法士の介入による片麻痺患者の運動の変化を調査する。

起立動作の改善を調査することで、リハビリの効果を定量的に評価可能となる。以上より、本研究ではリハビリ支援機器の開発のため、以下のように3つの目的を設定する。

1. 片麻痺患者の起立動作の調査
2. 回復度合いの評価基準の検討
3. 理学療法士の技能の解析

本論文は全6章から構成される。第1章では、本研究の背景に関して述べる。次に、本研究の目的を設定し、本論文の構成に関して述べる。

第2章では本研究に関連する従来研究について述べる。片麻痺患者の起立に関連する研究や、理学療法士の技能解析の調査に関する先行研究を確認し、本研究の位置づけを述べる。

第3章では片麻痺患者の起立を調査するため、運動の原因として筋シナジーと呼ばれる複数筋の協調発揮のモジュール構造と、運動の結果として運動学的指標を組み合わせて解析する手法の確立について述べる。リハビリ病院に入院中の33名の片麻痺患者を対象に、起立動作を計測し、本研究が確立した解析手法を適用した。計測した表面筋電図から非負値行列因子分解により筋シナジーを計算し、健常者と同様に麻痺側と非麻痺側ともに4つを抽出した。空間パターンは健常者と似ており、各シナジーは上体の前屈、臀部の離床、全身の伸展、姿勢の安定化であった。一方、健常者と片麻痺患者の間で、また片麻痺患者においても麻痺側と非麻痺側の間で筋シナジーの活動タイミングが異なることが分かった。筋シナジーの活動タイミングが変化したため、運動学的指標では上体を前屈するまでの腰関節角度や離臀時の重心の位置が健常者と片麻痺患者で異なることが分かった。また、伸展筋の共同運動が不十分な場合には前屈時の筋シナジーの活動量が、感覚障害が重い場合には離臀と安定化の筋シナジーの活動タイミングが異なることが分かった。本研究では健常者と片麻痺患者の運動の違いを説明可能な筋シナジーによる解析手法を確立し、片麻痺患者では筋シナジーの活動タイミングが調節できなくなるので運動が阻害され、健常者の起立との違いが生じることを明らかにした。

第4章では、ADL能力の改善という回復の度合いの評価基準の検討のため、回復に影響を与える起立動作の特徴について述べる。本研究では運動機能の改善が定常状態になると言われる発症3か月までの患者の起立に着目し、退院時にADL能力が良好群と非良好群の間には差があるのではないかと仮説を立てた。発症3か月以内の患者を退院時のFIMの点数から重度な群と中程度の群の2つに分け、起立動作の筋シナジー構造と運動学的指標を比較した。中程度の群と重度な群でともに筋シナジーを4つ抽出し、空間パターンに違いはなかったが時間パターンでは中程度の群では重度な群よりも筋シナジー3のピークが遅かった。中程度の群では麻痺側を使用したため、動作時間が長くなり筋シナジー3のピークが遅くなったと考えられる。発症3か月までの時点では運動機能に2群の違いはなかったが、

麻痺側を使用していた中程度の群の方が退院時には ADL 能力がより回復することが分かった。すなわち、起立では特に離臀から伸展のときに麻痺肢の使用を試みた方が退院時までの ADL 能力がより回復することを明らかにした。筋シナジーという筋の使い方を評価することで回復の度合いを評価可能である、という知見が得られた。

第 5 章では、理学療法士の介入中の技能を調査するため、理学療法士の腕の表面筋電図から解析する手法の確立について述べる。理学療法士は片麻痺患者の麻痺側の膝と骨盤後面に触れ、片麻痺患者の起立に介入する。そこで本研究では理学療法士の技能解析のために上肢の曲げ伸ばしに関わる筋活動を計測し、理学療法士の筋シナジーを調査する解析手法を確立した。決定係数から筋シナジーの数は 4 つと決定され、それぞれ膝の引っ張りや骨盤後面の前方への誘導、臀部の持ち上げ、膝の押し戻し、膝を支えて骨盤を上向きにする、という役割を持つことが分かった。理学療法士の筋シナジーと片麻痺患者の筋シナジーの相互相関数の計算結果から、理学療法士が患者の運動に合わせて自身の介入動作のタイミングを変えていることが分かった。また、第 3 章で確立した筋シナジー構造と運動学を組み合わせた解析手法による、理学療法士が介入中の片麻痺患者の起立の調査についても述べた。結果として、健常者よりも活動時間の長かった前屈の筋シナジーの活動時間が減少し、上体の前屈が減少することが分かった。すなわち、片麻痺患者では理学療法士の介入により重心の前方移動から上方移動に切り替わるタイミングが早くなった。さらに、理学療法士の介入により左右の対称性が改善されることが分かった。本研究が確立した理学療法士の技能の解析手法により、理学療法士は動作の開始や離臀のタイミングを教示することが技能として抽出できた。また、脳血管疾患により筋シナジーの活動タイミングを阻害された片麻痺患者に対し、理学療法士が介入することで筋シナジーの活動が改善されることが明らかになった。

第 6 章では本研究の結論と、今後の展望を述べる。本研究では理学療法士と片麻痺患者の両者の動作の理解のため、筋シナジーと運動学を組み合わせた解析手法を確立した。また、麻痺側の使用を筋シナジーから評価可能な手法を確立し、回復の度合いを評価可能な基準を検討した。さらに、理学療法士による介入を神経筋協調の観点で定量的に評価可能な解析手法を確立した。確立した解析手法を片麻痺患者に適用したところ、片麻痺患者が健常者と起立動作が異なるのは筋シナジーの活動タイミングに起因することが確認された。また、筋シナジーという筋の使い方から麻痺側の使用を評価することで、回復の度合いを評価可能であることが明らかになった。さらに、理学療法士は片麻痺患者に離臀のタイミングを教示し、脳卒中により阻害された筋シナジーの活動タイミングを改善することが分かった。本研究の成果が最終的に臨床現場に適用される形として、リハビリ支援機器もしくは理学療法士への教育支援が考えられる。そのために今後の展望として、特に初学者の理学療法士への技能教示や、片麻痺患者の長期的なリハビリの変化の特徴、そしてリハビリによる起立動作の変化のモデル化が考えられる。

