

氏名（本籍）	愛知 諒（埼玉県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第49号
学位授与年月日	令和5年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	保健医療科学研究科
学位論文題目	再生医療後の脊髄損傷者の歩行機能再獲得リハビリテーションに関する研究～受動ステップングを用いた潜在的な歩行機能評価による回復メカニズムの検討～

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（医学）	六崎 裕高
	茨城県立医療大学准教授	博士（障害科学）	橘 香織
	茨城県立医療大学准教授	博士（神経科学）	角 友起
	筑波大学准教授	博士（医学）	清水 如代

論文の内容の要旨

近年、損傷した脊髄を再生医療によって改善させる試みが行われているが、再生医療は、これまで機能回復を目的としたリハビリテーションの対象とならなかった患者を、その対象に含める方向に導く可能性がある。つまり、完全損傷者が不全損傷者相当に回復の可能性を持てる状態へと導くステップであるといえ、歩行機能再獲得の対象とならなかった完全損傷者が歩行リハビリテーションの対象となる可能性がある。よって、立位および歩行が困難な時期から潜在的な歩行機能を評価する方法が必要と考えられた。脊髄完全損傷者の麻痺下肢に歩行時と同様のステップング動作を与えることで歩行周期に同調した筋活動が生じることが報告されており、この活動は歩行様筋活動と言われて、脊髄 Central Pattern Generator (CPG) を介した活動と考えられている。この歩行様筋活動を評価することで潜在的な歩行機能を評価できる可能性があると考え研究が行われた。

本研究は3つの研究に分かれており、それぞれの具体的な研究目的は、(1) 歩行様筋活動の変化がいかなる要因によって、どの位相に生じるのかを特徴づけ、潜在的歩行機能の評価としての可能性と意義を考察すること、(2) 脊髄 CPG を賦活させる歩行条件（股関節伸展角度）を検証すること、(3) 歩行様筋活動の定量的評価が再生医療とリハビリテーション効果検証に有用か検証すること、としている。

研究（１）：脊髄損傷 44 症例に対して受動ステップング動作を実施し、その際に麻痺下肢歩行様筋活動を計測し、その特性を検討した。歩行様筋活動が脊髄完全損傷、不全損傷の両群で荷重に伴って変化し、その活動パターンは完全損傷においても、健常者と類似する点が存在すること、不全損傷例では随意指令に伴って歩行様筋活動に変化が生じ、そのパターンには正常歩行と類似する部分と、脊髄損傷の病態を反映する部分が含まれる可能性が示唆され、立位・歩行が困難な時期においても潜在的な歩行機能の変化を捉えられる可能性が示唆された。

研究（２）脊髄損傷 16 症例に対して受動ステップング動作中の股関節伸展角度を変化させた際の、歩行様筋活動を計測し、股関節求心系の影響を定量化した。股関節伸展角度を変化させることで歩行様筋活動が変化することが確認され、CPG をより賦活させる（L4-5 から S1-2 の活動増加）ためには股関節伸展角度を増大させることが重要であることが示唆された。また、股関節伸展角度を増大させる際は、骨盤前傾の代償を抑制し、身体上部に対して足部が過度に後方に逸脱しないように注意する必要があることが考えられた。

研究（３）再生医療実施 5 症例に対して、1 年間のリハビリテーションを行い、その効果検証に歩行様筋活動計測を用いた。第 1 研究で実施した歩行様筋活動の活動量を評価することは臨床評価では検出のできないわずかな機能改善を検出できる可能性が示唆され、再生医療後の効果検証の指標としての可能性が示唆された。また、第 2 研究で得られた CPG をより賦活させることができる受動歩行の設定を用いることで、再生医療後の機能改善の一因となった可能性が示唆された。

結論として、受動ステップング中に計測される歩行様筋活動によって、脊髄損傷者の歩行機能の特徴づけが可能であること、歩行様筋活動の変調に股関節伸展角度が影響すること、再生医療後の効果検証として臨床スコアには反映されないわずかな変化を抽出できることが示唆された。

審査の結果の要旨

本論文の審査は、事前に提出された論文をもとに、令和 5 年 8 月 7 日に公開の場での研究発表と質疑応答を行い、そのうえで、上記の審査員 4 名による協議をおこなった。審査は、本研究科の指針に従い、創造性・新規性、専門領域との関連性、論理性、信頼性・妥当性、論文の表現力、倫理的配慮の観点から行われた。以下に、その協議内容の要旨を述べる。

脊髄損傷者の麻痺下肢に歩行時と同様の受動的ステップング動作を与えることで歩行様筋活動が出現するが、本研究は、この歩行様筋活動に潜在的な歩行機能評価の可能性を見出し、研究が行われた。研究は、（１）脊髄損傷者を対象に歩行様筋活動を評価し、その変化の要因と位相の評価に関して、（２）脊髄損傷者を対象に歩行様筋活動を賦活させる股関節角度の影響に関して、（３）再生医療後の脊髄損傷者を対象に歩行様筋活動の評価を行い機能評価の可能性に関して、それぞれ研究が行われた。

脊髄損傷者を対象とした客観的な歩行機能評価として、受動ステッピングによる歩行様筋活動評価は一定の新規性がある。ロボティクスを用いた受動ステッピングに際して、股関節伸展角度の操作、患者の運動意志と筋活動との関連を評価した点にオリジナリティがある。再生医療を用いた機能回復という今後の発展が期待される分野において、潜在的な歩行能力をどのように評価するか、ということに挑戦的に取り組んだ意欲的な課題である。

再生治療とロボットリハビリテーションは現在注目されている分野であり、理学療法領域においても、今後再生医療治療後のリハビリテーションは大きなトピックになっていくものと考えられる。また、再生医療施行後のロボティクス訓練により歩行様筋活動に変化が生じたことは、脊髄損傷のリハビリテーションにおける光明であり、十分なインパクトはある。さらに、股関節伸展動作が歩行様筋活動に影響することを示しており、この結果はロボットリハビリテーションのみならず、通常のリハビリテーションでも応用ができ、関連領域へのインパクトがあると考えられる。

一方、「潜在的歩行能力」の定義や意義、筋電図からの解析結果の解釈が難しい点、「筋活動解析＝歩行機能評価」と同一視している表現や論理、今回のデータが潜在的歩行能力を反映しているのか、実際の歩行能力を反映しているものかの判断が難しい点に課題があり、今後の研究が必要と考えられた。

全体の構成、個々の文の明快さなど、一定の表現力があるものと評価できる。最終審査の発表は、3つの研究が行われていたが、わかりやすくまとまっていた。本研究は、倫理審査を経て研究が行われており、倫理的配慮がなされて行われていた。

以上より、臨床的に有意義なテーマである本研究が論理的に順序立てて行われ、理学療法分野の博士論文として十分な深さと広さを有しており、博士（保健医療科学）の学位に十分値するものと判定した。