

氏名（本籍）	遠藤 直人（茨城県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第 56 号
学位授与年月日	令和 7 年 3 月 14 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	変形性膝関節症の stiff knee gait に関する研究 —関連因子と神経筋制御機構の分析—

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（保健学）	富田 和秀
副査	茨城県立医療大学教授	博士（医学）	六崎 裕高
副査	茨城県立医療大学助教	博士（保健医療科学）	唯根 弘
審査員	東京農工大学准教授	博士（学術）	横山 光

論文の内容の要旨

本博士論文では、変形性膝関節症（膝 OA）患者の Stiff Knee Gait（SKG）について研究した。SKG は膝 OA 患者にみられる異常歩行の一つであり、歩行時の膝屈伸範囲の減少を特徴とする。SKG は関節変形や症状を悪化させ、将来的な人工膝関節置換術（TKA）の可能性を高めると報告されている。本研究は、膝 OA 患者の SKG の関連因子を明らかにするとともに、SKG の神経筋制御機構を分析することを目的とした。

第 1 研究：変形性膝関節症患者における Stiff Knee Gait の関連因子の調査

SKG の関連因子として膝 OA の重症度や筋力低下が報告されているが、他の因子は明らかになっていない。本研究では、膝 OA 患者の SKG に関連する因子を包括的に検討した。

対象は、膝 OA と診断され外来理学療法を受けている患者 21 名（75.6±6.0 歳）とした。5m の歩行路における快適速度歩行をハイスピードカメラで撮影し、姿勢推定により膝屈伸範囲を算出した。膝屈伸範囲 50° 未満を SKG+群、それ以上を SKG-群とした。データ分析では、他動的膝関節可動域（ROM）、大腿四頭筋筋力、疼痛（強度・継続期間）、変形の重症度、歩行速度、転倒自己効力感、健康関連 QOL を 2 群間で比較し、有意差が認められた項目について膝屈伸範囲との相関分析を行った。

その結果、SKG+群は 9 名、SKG-群は 12 名であった。両群間において、疼痛強度、大腿四頭筋筋力、他動的膝屈曲 ROM、WOMAC 機能スコアおよび合計スコアに有意差が認められた。膝屈伸範囲との間には、疼痛強度は中等度の負の相関、大腿四頭筋筋力は中等度の正の相関、他動的膝屈曲可動域は強い正の相関が確認された。これらの知見により、膝 OA 患者の SKG には疼痛、筋力低下、ROM 制限が関連し、また日常生活動作の障害や QOL

の低下と関連する可能性が示唆された。

第2研究：変形性膝関節症患者の Stiff Knee Gait と神経筋制御機構の関係

SKG には神経筋制御の変化が関連すると考えられるが、従来の研究では主働筋と拮抗筋の共収縮評価にとどまっている。SKG のメカニズムを理解するには、下肢全体の筋活動を制御する神経筋制御機構の評価が必要である。その一つの方法として、筋シナジー解析がある。筋シナジーとは、歩行に必要な複数の筋を個々ではなく、機能的な集団として制御する考え方であり、冗長性の高い身体を合理的に制御するメカニズムとされる。本研究では、筋シナジー解析を用いて SKG を呈する膝 OA 患者の神経筋制御機構の特徴を明らかにすることを目的とした。

対象は第1研究と同じ21名とし、SKG+群とSKG-群に分類した。下肢8筋の歩行中の筋電図データから非負値行列因子分解により筋シナジーを抽出し、階層的クラスタ分析でグループ化を行い、2群間で比較した。

その結果、筋シナジーのモジュール数には有意差がなかった。しかしながら、階層的クラスタ分析により全モジュールは1~4に分類され、SKGの有無で遊脚期前半に関わるモジュールに違いが認められた。遊脚期前半に大腿直筋・前脛骨筋の重みづけが高いモジュール1は健常者と一致する正常なパターンであり、SKG-群の一部にのみ観察され、SKG+群では消失していた。一方、遊脚期前半にハムストリング・前脛骨筋の重みづけが高いモジュール2は、SKG+群で有意に高い出現率を示した。これらの結果から、遊脚期前半における正常な筋シナジーの消失と異常な筋シナジーの出現が、SKGを呈する膝OA患者の神経筋制御機構の特徴である可能性が示唆された。

結論：膝OA患者のSKGには、疼痛強度、大腿四頭筋筋力低下、他動的膝屈曲ROM制限が関連することが示唆された。さらに、遊脚期前半における正常な筋シナジーの消失と異常な筋シナジーの出現が、SKGを呈する膝OA患者の神経筋制御機構の特徴である可能性が示唆された。本研究の知見は、膝OA患者のSKGが疼痛、筋力低下、ROM制限、および神経筋制御機構の変化に複合的に関与し、包括的な治療の必要性を示唆する。

審査の結果の要旨

本論文の審査では、令和7年1月24日に公開の場での研究発表と質疑応答を行った後に、上記の審査員4名による協議が行われた。論文審査は、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、各観点に関する協議内容の要旨を述べる。

本博士論文は、第1研究で変形性膝関節症（膝OA）患者におけるStiff Knee Gait (SKG)の関連因子を調査し、第2研究で筋シナジー解析を用いてその神経筋制御の一端を明らかにした。この二つのアプローチにより、新たな視点からの知見が提供されている。第1研究では、膝OAにおけるSKGと疼痛、他動的膝屈伸ROM、膝伸展筋力の関連を初めて明らかにした。また、SKGが日常生活における健康関連QOLに影響を与える可能性を示唆した点も新規性がある。第2研究では、筋シナジー解析を用いて、膝OA患者におけるSKGの有無による違いやその特徴を検討した点に新規性があり、これまでにないアプローチで本研究の独自性を強く示している。

膝OA患者におけるSKGの関連因子や神経筋制御のメカニズムが明らかになることにより、新たなリハビリテーションアプローチの開発が期待され、専門領域へのインパクトは非常に大きいといえる。膝OA患者に特有の筋シナジーパターンを明らかにしたことは、当該疾患における筋制御機構の理解を深め、臨床分野への貢献が大きいと考えられる。特に、初期膝OA患者やTKA術前の膝OA患者を対象としたリハビリテーションの開発に繋がる可能性がある。

論文全体として、研究目的や採用された方法に至る論理の筋道は適切に構築されている。第1研究の結果を踏まえ、未解明の神経筋制御の関係を検証するために、第2研究の目的や方法が適切に設定されており、論理の一貫性が保たれている。また、これらの結果や限界点を踏まえた今後の研究についても十分に考慮されている。

筋シナジー解析には、信頼性の高い方法が用いられている。N数が少ない点については、効果量や検出力を活用し、信頼性を担保しようとするための検証が行われていた。

論文の表現は、全体的に適切に構成されており、論旨が明確で、理解しやすい表現が用いられている。また、文章構成も適切に整えられている。

なお、本論文の作成に用いられているすべての研究は、本学倫理委員会の承認を得て、適切な倫理的配慮のもとに実施されていた。

以上の論文審査結果を総括して、審査員全員の合意のもとに、本論文が博士論文として適切であることを認めた。